

**HEBER TEIXEIRA-PINTO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MARCADOR ATIVO DE LED  
PARA ANÁLISE CINEMÁTICA: VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO  
NO SALTO SOBRE A MESA DA GINÁSTICA ARTÍSTICA**

**Limeira  
2015**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS**

**HEBER TEIXEIRA-PINTO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MARCADOR ATIVO DE LED  
PARA ANÁLISE CINEMÁTICA: VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO  
NO SALTO SOBRE A MESA DA GINÁSTICA ARTÍSTICA**

Dissertação apresentada a Faculdade de Ciências Aplicadas para obtenção do Título de Mestre em Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo, na área de concentração de Biodinâmica do Movimento Humano e Esporte.

Orientador: Prof. Dr. Milton Shoiti Misuta

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL  
DISSERTAÇÃO/TESE DEFENDIDA PELO ALUNO  
HEBER TEIXEIRA PINTO, E ORIENTADA PELO  
PROF. DR. MILTON SHOITI MISUTA



---

(assinatura do orientador)

**LIMEIRA,  
2015**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas  
Sueli Ferreira Júlio de Oliveira - CRB 8/2380

T235d Teixeira-Pinto, Heber  
Desenvolvimento de um marcador ativo de LED para análise cinemática: validação e aplicação no salto sobre a mesa da ginástica artística / Heber Teixeira Pinto. – Campinas, SP: [s.n.], 2015.

Orientador: Milton Shoiti Misuta.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas.

1. Cinemática. 2. Ginástica artística. 3. Marcadores. 4. Validação. I. Misuta, Milton Shoiti. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Development of a LED active marker for kinematics analysis: validation and application on the artistic gymnastics vaulting table

**Palavras-chave em inglês:**

Kinematics

Artistic gymnastics

Markers

Validation

**Área de concentração:** Biodinâmica do Movimento Humano e Esporte

**Titulação:** Mestre em Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo

**Banca examinadora:**

Milton Shoiti Misuta

[Orientador] Paulo Roberto

Pereira Santiago Luis Eduardo

Barreto Martins

**Data de defesa:** 31-03-2015

**Programa de Pós-Graduação:** Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo

**Autor:** Heber Teixeira-Pinto

**Título:** Desenvolvimento de um marcador ativo de LED para análise cinemática: validação e aplicação no volume do salto sobre a mesa.

**Natureza:** Dissertação de Mestrado

**Instituição:** Faculdade de Ciências Aplicadas

**Data da Defesa:** Limeira, 31 de março de 2015.

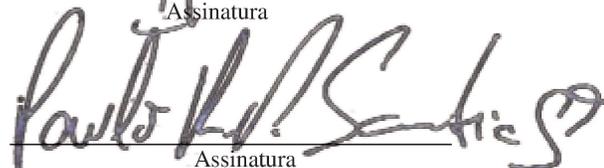
## BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Milton Shoiti Misuta (Orientador)



Assinatura

Prof. Dr. Paulo Roberto Pereira Santiago



Assinatura

Prof. Dr. Luis Eduardo Barreto Martins



Assinatura



TEIXEIRA-PINTO, Heber. **Desenvolvimento de um marcador ativo de LED para análise cinemática:** validação e aplicação no salto sobre a mesa da ginástica artística. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo), Faculdade de Ciências Aplicadas. Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2015.

## **Resumo**

O salto sobre a mesa da ginástica artística (GA) é uma prova composta por um único elemento e de grande importância para o atleta (nas competições individuais) e para sua equipe. No salto sobre a mesa, os atletas realizam rotações em torno dos eixos corporais e utilizar de marcadores passivos para análise cinemática por videogametria é preciso um elevado número de câmeras porque a disposição das câmeras para o registro deste movimento faz com que os iluminadores fiquem no campo óptico de outras câmeras. Para resolver este problema desenvolvemos um marcador ativo de LED para atender as necessidades da modalidade utilizando LED de alto brilho e baterias individuais. Fizemos a validação do marcador comparando-o com marcadores utilizados em sistemas de análise cinemática e utilizamos os marcadores desenvolvidos para obter um modelo de representação corporal para análise do salto sobre a mesa. Os resultados mostram que o marcador ativo desenvolvido de 10mm pode ser utilizado em volumes com dimensões de até 10m x 2,5m x 4m permitindo o erro médio absoluto de 2,41mm, desvio padrão de 2,84mm e exatidão de 2,86mm. Com o marcador ativo desenvolvido utilizamos menos câmeras que em outros estudos e não foram registrados 3 marcadores em cada segmento corporal no máximo 3 *frames* consecutivos. A maior diferença entre a avaliação antropométrica e a média dos valores obtidos foi 1,5 cm. O marcador ativo de LED desenvolvido mostrou se adequado para análise de gestos técnicos que requerem grandes volumes, como, o salto sobre a mesa. Este marcador mostra-se como uma solução de baixo custo para análise cinemática de movimentos que os atletas realizam rotações em torno dos eixos corporais para auxiliar na detecção de falhas e aprimorar o desempenho dos atletas.

**Palavras-Chave:** Cinemática; Salto sobre a mesa; Marcador ativo; Ginástica artística.



**TEIXEIRA-PINTO, Heber. Development of a LED active marker for kinematics analysis:** validation and application on the artistic gymnastics vaulting table. 53f. Thesis (Master in Science of the Nutrition and Sports and Metabolism), School of Applied Sciences. University of Campinas, Limeira, 2015.

### **Abstract**

The artistic gymnastics vaulting table is a discipline composed by a single element and it has of great importance to the athlete (on the individual competitions) and his team. In the vaulting table, the athletes do rotations around the body axis and use passive markers to kinematic analysis by videogrametry it takes a large number of cameras because the arrangement of cameras to record the movement causes the illuminators stay on optical field of other cameras. To solve this problem we developed an active marker LED the artistic gymnastics requirements using high-brightness LED and individual batteries. We validate the marker comparing it with markers used in kinematic analysis systems and we use the developed markers to get a body representation model for kinematic analysis of vaulting table. The data show that the active marker developed 10mm can be used in volumes with dimensions of up to 10m x 2.5mx 4m allowing the mean absolute error of 2.41mm, standard deviation of 2.84mm and accuracy of 2.86mm. With the active marker developed use fewer cameras than in other studies and we cannot recorded three markers on each body segment a maximum of 3 consecutive frames. The biggest difference between anthropometric measurements and mean of values obtained was 1.5 cm. The LED active marker was is adequate for analysis of technical movements that require large volumes, as the vaulting table. This marker shows up as a low-cost solution for kinematic analysis of movements that athletes do rotations around the body axis to assist in fault detection and improve the performance of athletes.

**Keywords:** kinematics; Vaulting table; Active marker; Artistic gymnastics.



## Sumário

Introdução .....	1
Estrutura do Trabalho .....	1
O Salto Sobre a Mesa .....	2
Biomecânica: Pesquisas e Tipos de Salto .....	4
Delineamento do Projeto de Pesquisa .....	6
Objetivos .....	9
1. Objetivo Geral .....	9
2. Objetivos Específicos .....	9
Capítulo 1 – Desenvolvimento e avaliação de um marcador ativo de LED para uso no volume do salto sobre a mesa da ginástica artística. ....	10
Resumo.....	10
Introdução .....	10
Materiais e Métodos.....	12
1. O Marcador. ....	12
2. Validação do Marcador .....	13
3. Teste do marcador ativo no volume do salto sobre a mesa da Ginástica Artística.....	15
4. Análise dos Dados .....	16
Resultados .....	17
1. Resultados do Experimento 1: Avaliação entre os marcadores passivos e ativos .....	17
2. Resultados dos Experimentos 2 e 3: Teste com marcador ativo no volume do salto sobre a mesa da GA .....	19
Discussão .....	20
Conclusão .....	23
Referências Bibliográficas.....	23
Capítulo 2 – Aplicação e validação de um marcador ativo de LED para análise cinemática 3D no salto sobre a mesa da ginástica artística. ....	25
Resumo.....	25

Introdução .....	25
Materiais e Métodos.....	27
1. O Volume .....	27
2. As Câmeras .....	27
3. O Marcador.....	27
4. Calibração das Câmeras e Obtenção das Coordenadas Espaciais.....	28
5. Desenho Experimental e Características do Sujeito .....	28
6. Modelo de Representação Corporal .....	30
7. Validação .....	31
Resultados .....	31
Discussão .....	35
Conclusão .....	37
Referências Bibliográficas.....	38
Considerações Finais.....	41
Referências Bibliográficas .....	41
Anexos. ....	44
Anexo 1: Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa .....	45
Anexo 2: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido .....	47
Anexo 3: Resultados dos testes de precisão e exatidão dos marcadores passivos e ativos na situação estática .....	50
Anexo 4: Protocolo de Marcação dos Pontos Anatômicos.....	51
Anexo 5: Cálculos utilizados para determinar a posição do centro de massa dos pés .....	53

## **Agradecimentos**

Agradeço à Janaína minha esposa, companheira e colega de trabalho, um exemplo de disciplina, organização e comprometimento. Pela ajuda, pela paciência, pelas discussões e contribuições não apenas pelos últimos 25 meses de mestrado, mas pelos 12 anos e 5 meses que estamos juntos. Jana, obrigado pela ajuda nos momentos de dificuldade e pelos muitos bons momentos que vivemos e ainda viveremos. TG.

Agradeço aos meus pais, pelo afeto e dedicação, pela formação pessoal e educação que deram a mim e aos meus irmãos. Agradeço pelo apoio e por sempre acreditarem em mim.

Agradeço a todos os professores que tive. Pessoas que optaram por uma profissão pouco valorizada em nosso país, mas que a exercem com muito comprometimento. Em especial amigo Claudio Godoy, meu técnico de ginástica artística. Uma pessoa que muito estimo e que incentivou não apenas eu, mas vários de seus alunos a se tornarem colegas de profissão. Valeu Claudião!

Agradeço aos meus amigos do LABIN e do LIB pelas discussões nas disciplinas, pela ajuda nos exercícios de Matlab e estatística (né “Moura”), pelas discussões sobre nossos projetos de pesquisa e auxílio nos momentos difíceis. Em especial aos amigos Carolina Cirino, Lucas Monezi, Marcelo Rodrigues, Natalia Rodrigues e Thiago Magalhães pela ajuda nas coletas de dados. Posicionar as câmeras na parte superior do ginásio, colocar lonas nas telhas translúcidas, carregar os colchões, pista de corrida, trampolim e mesa de salto... E mais uma vez peço desculpas por fazê-los sair tão tarde do ginásio. Seria impossível realiza-las sem a ajuda de vocês, muito obrigado mesmo.

Agradeço ao professor Luciano Mercadante, pelas aulas, caronas, pelas discussões e aconselhamentos na sala de aula e nas viagens.

Agradeço à CAPES pelo aporte financeiro nos últimos 12 meses advindo do convênio com a universidade no programa de demanda social processo (01P03422/2014).

E por último, porém não menos importante, agradeço ao amigo de faculdade (aluno de pós-graduação que cursou algumas disciplinas da licenciatura comigo), que aceitou orientar-me, o meu orientador, Milton Misuta. Apesar de terminar o

mestrado sem analisar o Tsukahara Estendido, estes 25 meses de mestrado foram de muito aprendizado. O caráter metodológico do trabalho (os diversos testes com câmeras e o desenvolvimento do marcador) servirão de base para analisar não apenas o Tsukahara estendido como também muitos outros movimentos. Muito obrigado.

## Lista de Ilustrações

Figura 1: Diferentes grupos de saltos sobre a mesa. ....	3
Figura 2: Grupos de salto do ciclo olímpico 2013-2016. ....	4
Figura 3: Marcador Ativo de LED Desenvolvido e o Circuito de Elétrico do marcador. A ligação com brilho-4,4Ω (maior brilho) é representada pela linha pontilhada e a ligação com brilho-32,2Ω (menor brilho) é representada pela linha tracejada.....	13
Figura 4: Estrutura rígida com marcadores: A = marcadores ativos; B = Marcadores passivos. ....	14
Figura 5: Esquema representando as posições que foram realizadas as Coletas Estáticas. As câmeras foram posicionadas em torno do volume e na parte superior de forma a visualizar os marcadores da estrutura construída em todas as posições esquematizadas (posições de 1 a 15).....	15
Figura 6: Erro das barras rígida em relação ao valor esperado. Os gráficos A e C são referentes as 15 coletas realizadas na situação estática e os gráficos C e D são da coleta dinâmica. O erro médio é apresentado pela linha cinza de cada gráfico. ....	18
Figura 7: Erro e valor do erro absoluto das medidas barras rígida em relação ao valor esperado. Os gráficos A e C são referentes ao experimento 2 e os gráficos B e D referem-se ao experimento 3.....	20
Figura 8: Esquema com o posicionamento das Câmeras. ....	28
Figura 9: Modelo de Representação Corporal Completo .....	29
Figura 10: Salto Reversão.....	30
Figura 11: Deslocamento Horizontal ( $\Delta X$ ); Altura do Centro de Massa (CM); Ângulos de Touchdown (TD) e Takeoff(TO); e Variação da Altura do CM ( $\Delta H$ ) entre TD e TO e TO Altura máxima ( $H_{m\acute{a}x}$ ).....	35



## Lista de Tabelas

Tabela 1: Resultados dos testes de exatidão na situação dinâmica e dos dados obtidos nas 15 posições das coletas estáticas. A distância nominal entre os marcadores passivos é 135,91mm e entre os marcadores ativos 139,56mm. ....	18
Tabela 2: Resultados dos testes de exatidão dos experimentos 2 (com maior brilho) e experimento 3 (com menor brilho). A distância nominal entre os marcadores é 912,30mm. ....	19
Tabela 3: Resultados dos testes de exatidão de alguns sistemas comerciais comparados com os dados obtidos utilizando o sistema Dvideo com marcador ativo.....	22
Tabela 4: Teste de exatidão do sistema com barra rígida. A distância nominal esperada é 912,3mm. ....	31
Tabela 5: Número de quadros que não foram registrados 3 marcadores para orientar segmento.....	32
Tabela 6: Comparação do comprimento dos segmentos corporais das medidas obtidas pelo paquímetro utilizando o protocolo proposto por De Leva (1996) e a média dos valores obtidos pela videogametriá. ....	33
Tabela 7: Velocidades Vertical e Velocidade da Progressão e Médio-Lateral. ....	34
Tabela 8: Comparação das variáveis com diferença significativa entre os grupos com as 20 maiores e as 20 menores notas nos jogos olímpicos de 1992 (5) e os dados do atleta participante deste estudo. ....	37



## **Lista de Quadros**

Quadro 1: Pontos anatômicos dos segmentos corporais utilizados para predição do Centro de Massa.....	30
--	----



## Lista de Abreviaturas e Siglas.

2D – Bidimensional.

3D – Tridimensional.

AVI – *Audio Vídeo Intervaled*.

Brilho-4,4 $\Omega$  – Marcador ativo ligado ao resistor de 4,4 $\Omega$ .

Brilho-32,2 $\Omega$  – Marcador ativo ligado ao resistor de 32,2 $\Omega$ .

Conj.A – Conjunto A.

Conj.B – Conjunto B.

CM – Centro de Massa.

DP – Desvio Padrão.

$EM$  – Erro Médio.

$EM_{Abs}$  – Médio Absoluto.

$EM_{Abs}Rel$  – Erro Médio Absoluto Relativo.

$E_{m\acute{a}x}(-)$  – Erro Máximo Negativo.

$E_{m\acute{a}x}(+)$  – Erro Máximo Positivo.

GA – Ginastica artística.

GAF – Ginastica artística feminina.

GAM – Ginastica artística masculina.

Hm $\acute{a}x$  – Altura máxima.

LED – *Light Emitting Diode*

$n$  – Número de observações.

TD – *Touchdown*.

TO – *Takeoff*.

$VE$  – Valor encontrado.

Vel – Velocidade.

$\overline{VO}$  – Média.

$VO$  – Valor observado.

$VO_{Min}$  – Menor  $VO$  encontrado.

$VO_{Max}$  – Maior  $VO$  encontrado.

$\Delta E_{m\acute{a}x}$  – Variação Erro Máximo.

$\Delta H$  – Variação da Altura.

$\Delta V$  – Variação da Velocidade.

$\Delta X$  – Distância da distância percorrida no eixo X (progressão).

## **Introdução**

### **Estrutura do Trabalho**

O presente texto é um documento apresentado à Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo, na área de Biodinâmica do Movimento Humano e Esporte.

A redação deste documento está sobre as normas e orientações do programa de pós-graduação em Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo. Antes de iniciar os procedimentos formais, faço uma breve explicação sobre os itens obrigatórios que compõem este exemplar:

- 1) A introdução do trabalho composta por três subitens: No primeiro momento fazemos a apresentação da representatividade modalidade esportiva em questão, da representatividade do salto sobre a mesa no âmbito esportivo e a dinâmica da prova; Em seguida, apresentamos um breve panorama sobre os estudos que associam os diferentes tipos de salto sobre a mesa e a cinemetria e também fazemos uma síntese dos acontecimentos que culminaram neste estudo;
- 2) Em seguida são apresentados os principais objetivos dos capítulos que virão a seguir;
- 3) Há também 2 capítulos que foram escritos em formato de artigo científico. Nestes capítulos descrevemos o marcador ativo de LED que desenvolvemos para resolver um problema metodológico, a validação deste marcador e a aplicação do marcador no salto sobre a mesa.
- 4) E finalmente, são apresentadas as Considerações Finais da dissertação, apoiados nas conclusões provenientes dos estudos realizados.

Conforme as normas e orientações do programa de pós-graduação em Ciências da Nutrição e do Esporte e Metabolismo as referências bibliográficas presentes nos capítulos um e dois são apresentadas no final dos respectivos capítulos enquanto as referências das demais partes integrantes da dissertação (Introdução, Objetivos e Considerações Finais) estão presentes no final do texto.

## O Salto Sobre a Mesa

Presente no programa competitivo desde início dos Jogos Olímpicos da era moderna (1986) a Ginástica Artística (GA) é um dos esportes de maior plasticidade de tal evento. Nesta modalidade, os atletas realizam provas em vários aparelhos, ao todo são seis na GA masculina (GAM) e quatro na GA Feminina (GAF). Estes aparelhos possuem características distintas e exigem dos atletas destreza, domínio corporal e combinação de diferentes ações motoras (1).

Na GA são disputadas muitas medalhas. Ao todo são 42 medalhas sendo 24 medalhas na GAM e 18 na GAF. Das 39 modalidades disputadas em nos Jogos Olímpicos de Londres 2012, a GA ao lado do Remo foi a 8ª modalidade que conferiu mais medalhas aos participantes. Estas medalhas representam 4,36% do total de medalhas disputadas. Estes números mostram que modalidade ter certa representatividade no quadro de medalhas dos Jogos Olímpicos, portanto uma modalidade que merece certa atenção.

Em quase todos os aparelhos da GA as rotinas e estas são compostas por diversos exercícios, a única exceção é o Salto sobre a Mesa. O que difere esta prova das demais é que no Salto sobre a Mesa o atleta executa um único exercício. Toda a ação desde o primeiro movimento (início da corrida) do ginasta até o término (aterrissagem) dura aproximadamente 6 segundos. Esta prova pode ser dividida em 6 fases distintas.

1. Corrida de Aproximação;
2. Contato com a prancha de impulsão (trampolim);
3. Primeiro Voo
4. Contato com a mesa de salto
5. Segundo Voo
6. Aterrissagem,

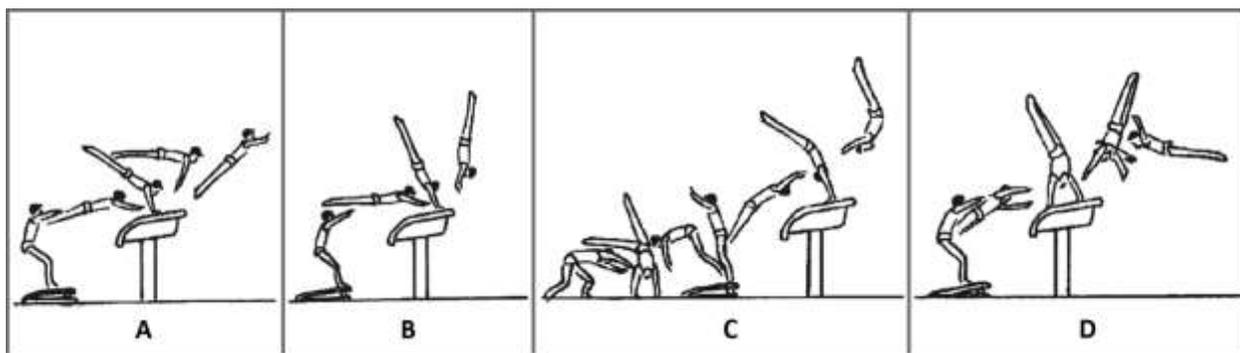
A primeira fase, ou seja, corrida de aproximação é a única fase que não é avaliada pela arbitragem, porém é nesta fase que o atleta adquire a velocidade necessária para realizar o movimento.

O atleta começa a ser avaliado a partir do contato com a prancha de

impulsão até a aterrissagem e todas estas ações ocorrem em menos de 3 segundos, ou seja, neste curto período ocorre uma sequência de ações rápidas que podem resultar no sucesso ou falha do atleta. Portanto, compreender o comportamento de variáveis biomecânicas como velocidades lineares e angulares, tempo de contato com a mesa e altura máxima atingida pelo centro de massa do atleta são bastante interessantes pela representatividade no meio esportivo.

Assim sendo, com uma coleta de dados de curta duração é possível obter todos os dados em uma prova que está presente tanto na GAM quanto na GAF e a nota deste aparelho implica em aproximadamente  $\frac{1}{4}$  da pontuação de uma equipe feminina e  $\frac{1}{6}$  da pontuação de uma equipe masculina. Além de conferir medalhas aos melhores atletas desta prova.

Os saltos sobre a mesa são agrupados pelas características que apresentam nas fases do salto 2 (contato com a mesa de impulsão), 3 (primeiro voo) e 4 (contato com a mesa de salto). Algumas destas variações apresentadas no código de pontuação do ciclo olímpico 2009-2012 podem ser observadas na Figura 1. Os atletas que pretendem ser finalistas da competição individual por aparelho devem executar dois saltos de grupos diferentes competição classificatória e na fase final também escolher entre dois grupos.

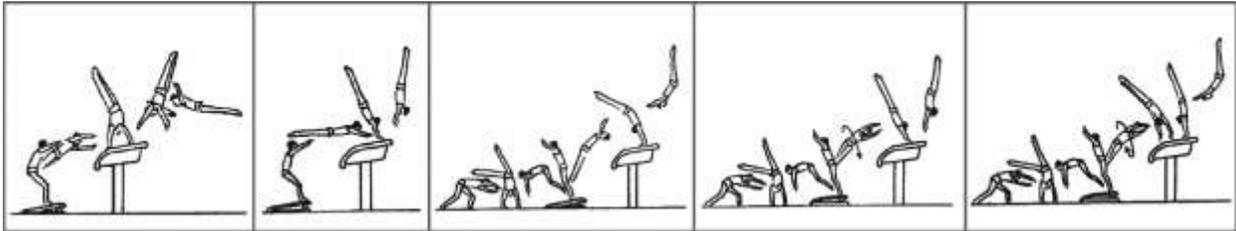


**Figura 1:** Diferentes grupos de saltos sobre a mesa.

**Fonte:** (2) adaptado p.89, p.91, p93 e p.95.

Devido à evolução da modalidade, os atletas de alto nível deixaram de realizar os saltos do grupo da Figura 1A. Assim, os atletas eram obrigados escolher entre dois dos três outros grupos apresentados na Figura 1. Por isso, no ciclo olímpico 2013-2016 o grupo apresentado na Figura 1A deixou de existir e o grupo apresentado na Figura

1C foi dividido em 3 grupos. Gerando assim 5 grupos de salto sobre a mesa (Figura 2).



**Figura 2:** Grupos de salto do ciclo olímpico 2013-2016.

**Fonte:** (3) adaptado. p.96, p.98, p100, p102 e p104.

### **Biomecânica: Pesquisas e Tipos de Salto**

Por ser uma prova composta por um único elemento e é por ser um exercício de grande importância para o atleta e para sua equipe, o salto sobre a mesa é dentre os aparelhos da GA o aparelho mais pesquisado (4). Vários estudos buscaram compreender as variáveis biomecânicas de alguns tipos de saltos sobre a mesa, e a maioria dos trabalhos abordam saltos com entrada de frente ou de costas para a mesa de salto e sem rotação na primeira fase de voo.

Apesar do grupo dos saltos direto (saltos com entrada para frente e sem rotação no eixo transversal, Figura 1A) não existir no código de pontuação no ciclo olímpico 2013-2016 há diversos estudos que abordam este tipo de salto.

- Um estudo utilizou recursos computacionais de simulação para analisar o papel que a trajetória do primeiro voo desempenha para impedir que o atleta realize a rotação no eixo transversal (5).
- Utilizaram uma coleta de dados bidimensional (2D) para identificar os fatores do primeiro voo que implicam no desempenho (altura e distância) do segundo voo (6).
- King e Yeadon (7) analisaram os fatores que influenciam no desempenho do salto direto (contato com o aparelho, flexão do quadril e dos joelhos e torque gerado pelo ombro) e propuseram um modelo de simulação computacional que representasse este salto.

Estudos que analisaram saltos sobre a mesa com entrada para frente com rotação no eixo transversal (Figura. 1B).

- O salto sobre a mesa surgiu de uma alteração em uma regra da GA até 2000 as provas de salto eram realizadas sobre o cavalo com alças e a partir de 2001 passaram a ser realizadas sobre a mesa. No momento de transição Irwin e Kerwin (8) observaram por meio de análise tridimensional (3D) que a substituição do aparelho gerou alterações na dinâmica do salto com diferenças no ângulo do ombro e ângulo de ataque na prancha de impulsão de decolagem, bem como velocidade vertical e velocidade angular média durante o contato a mesa, e algumas diferenças individuais entre os atletas.
- Diversos estudos analisaram as correlações entre variáveis mecânicas e as notas dadas para os saltos por árbitros qualificados e correlações entre nas notas atribuídas aos melhores e piores saltos. Como resultado, é geralmente encontrado que executar o salto com maior velocidade horizontal no contato com a prancha de impulsão e maior velocidade linear e angular de decolagem do trampolim podem ser mais importantes do que as variáveis de contato (9-14). Destes trabalhos apenas 2 (12, 13) fizeram análise 3D, enquanto os outros trabalhos fizeram análise 2D;
- Utilizando uma coleta de dados 2D um estudo manipulou as variáveis biomecânicas determinantes para propor otimização da fase aérea do segundo voo (altura do centro de massa e distância da aterrissagem em relação ao cavalo (15).
- Jackson e colaboradores (16) propuseram através de simulação um modelo para analisar o atrito das mãos com a mesa de salto utilizando reconstrução 3D;

Os saltos com entrada de costas para a mesa, com rodante antes do contato com o trampolim (Yurchenko) também já foram estudados, (Figura 1C);

- Kohl e Jennings utilizaram uma coleta de dados 2D para investigar por meio de simulação computacional a forma como a variação do ângulo do corpo no momento do contato com a mesa de salto e como o primeiro voo podem afetar a postura e altura e distância satisfatórias do segundo

voo (17) e os torques articulares das articulações do ombro, cotovelo e punho (18, 19).

- Penitente e colaboradores (20) realizaram análise 3D das variáveis biomecânicas (velocidade vertical e horizontal, ângulo de entrada, tempo de contato e ângulo de saída da fase de contato com a prancha de impulsão) de atletas em ambiente competitivo.

Nos Jogos Olímpicos de Londres 2012 dos 8 atletas participantes da final 7 optaram realizar o salto com  $\frac{1}{4}$  de giro no primeiro voo (Figura 1D). Isso mostra que este grupo de saltos possui grande representatividade no meio competitivo, porém ainda há poucos estudos sobre este tipo de salto:

- Dois estudos abordaram as variáveis biomecânicas velocidade da corrida de aproximação deslocamento horizontal e vertical, velocidade vertical e horizontal, ângulo de entrada, de saída e tempo de contato com a mesa de salto (21, 22).

O que há em comum em todos os trabalhos citados é que eles abordam contato com a prancha de impulsão e com a mesa de salto. Isto ocorre porque são nestes momentos que os atletas precisam converter a velocidade horizontal advinda da corrida de aproximação em um salto de grande amplitude.

Os saltos sobre a mesa são exercícios rápidos e a ginástica artística é uma modalidade que exige um padrão de movimento. O desvio na postura corporal resulta em uma falha que é penalizada pela arbitragem, assim sendo, os exercícios dos atletas devem ser o mais parecido possível. A videogametria permite quantificar as variáveis cinemáticas e descrever o movimento em questão pode auxiliar na detecção de falhas e aprimorar o desempenho dos atletas.

### **Delineamento do Projeto de Pesquisa**

O projeto de pesquisa inicialmente tinha como objetivo geral, analisar os saltos sobre a mesa com entrada  $\frac{1}{4}$  de giro no primeiro voo (Figura 1D). Iríamos realizar

análise cinemática do salto Tsukahara estendido por videogametría<sup>1</sup>. Porém nos deparamos com alguns obstáculos que fizeram com que houvesse alguns ajustes no projeto, tornando-o com um caráter metodológico utilizado para a análise do salto sobre a mesa.

Nesta prova, o atleta é avaliado no contato com a prancha de impulsão, na passagem sobre a mesa de salto e na aterrissagem. Estas ações ocorrem com um deslocamento horizontal (progressão) de aproximadamente 10m. Na fase aérea parte do corpo do atinge aproximadamente 4m de altura e considerando que o atleta pode afastar os braços durante a execução do salto consideramos a largura do volume de calibração de no máximo 2,5m de largura. Assim o volume de calibração necessário para análise deste gesto técnico é de aproximadamente (10m x 2,5m x 4m).

Nas fases aéreas do salto sobre a mesa (primeiro e/ ou no segundo voo), os atletas realizam rotações no eixo látero-lareral, por isso para realizar a análise biomecânica por videogametría é necessário posicionar câmeras próximas ao solo (inclinadas para cima) e câmeras no alto (inclinadas para baixo), para que todos os marcadores colocados no atleta possam ser registrados durante as fases do salto sobre a mesa avaliadas pela arbitragem.

O primeiro problema a ser solucionado refere-se ao posicionamento das câmeras, pois utilizar de marcadores passivos para a análise destes movimentos apresenta algumas limitações, porque a disposição das câmeras para o registro destes movimentos faz com que os iluminadores fiquem no campo óptico de outras câmeras então decidimos por utilizar outro tipo de marcadores.

Devido às dimensões do volume necessárias para analisar o salto sobre a mesa (10m x 2,5m x 4m) e que os marcadores devem ser visíveis durante todo o movimento, foram realizados alguns testes com marcadores brancos de 25mm e 30mm, porém não foram obtidos dados satisfatórios referentes à precisão e a exatidão essencial para qualquer tipo de análise por videogametría. Para resolver este problema foi então

---

<sup>1</sup> Este era o título do projeto que foi enviado ao comitê de ética em pesquisa antes de nos depararmos com os obstáculos que enfrentamos. Por este motivo o título da dissertação é diferente do que aparece no anexo 1: Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa e no anexo 2: termo de consentimento livre e esclarecido.

desenvolvido um marcador ativo construído com LED de alto brilho e bateria de lítio com fonte de alimentação independente que pode ser utilizado em grandes volumes, assunto abordado no capítulo 1.

E no capítulo 2 avaliamos quantidade a disposição e o enquadramento das câmeras são satisfatórios para análise cinemática do salto sobre a mesa e mostramos a aplicação do marcador ativo de LED no salto sobre a mesa da ginástica artística em um modelo de representação corporal que permite encontrar a posição do centro articular (CA) dos segmentos corporais do atleta.

## **Objetivos**

### **1. Objetivo Geral**

O Objetivo geral deste trabalho é trazer para a comunidade científica um marcador ativo de LED desenvolvido para trabalhar no espectro da luz visível, que permite utilizar câmeras comerciais para análise cinemática que pode ser utilizado em grandes volumes (10m x 2,5m x 4m).

### **2. Objetivos Específicos**

Descrever as características do marcador ativo de LED;

Comparar o marcador ativo desenvolvido com marcadores utilizado em outros sistemas de análise cinemática;

Aplicar o marcador ativo de LED no salto sobre a mesa da GA em um modelo de representação corporal que possibilita obter a posição do centro articular dos segmentos corporais;

Avaliar se quantidade de câmeras, a disposição das mesmas e se o enquadramento são satisfatórios para análise do salto sobre a mesa.

## **Capítulo 1 – Desenvolvimento e avaliação de um marcador ativo de LED para uso no volume do salto sobre a mesa da ginástica artística.**

### **Resumo**

No mercado há vários sistemas comerciais que utilizam a videogametría para obter as coordenadas espaciais dos objetos de interesse. Para analisar as acrobacias da ginástica artística algumas câmeras ficam posicionadas no campo óptico de outras câmeras e os iluminadores atrapalham a visualização dos marcadores. Este trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar um marcador ativo de LED para uso no volume do salto sobre a mesa da ginástica artística. Os objetivos específicos consistem em: a) validar o marcador desenvolvido comparando-o com os marcadores já utilizados em sistemas comerciais; b) avaliar a exatidão no uso do marcador ativo considerando o volume de calibração necessário para análise do salto sobre a mesa (10m x 2,5m x 4m). O marcador desenvolvido possui duas resistências diferentes: para ser usado o mesmo em ambiente mais iluminado utiliza-se o marcador com resistor de  $4,4\Omega$  e para ambientes menos iluminados com um resistor de  $32,2\Omega$  resultando no tempo de vida da bateria de 1 e 7 horas respectivamente. O marcador desenvolvido teve um custo com materiais inferior a 10\$ por unidade e apresentaram menor desvio padrão e menor variação entre os valores máximo e mínimo que os marcadores passivos. No teste para aplicação no volume de (10m x 2,5m x 4m) o erro médio absoluto de 2,41mm, desvio padrão de 2,84mm e exatidão de 2,86mm. Estes dados são similares aos encontrados em outros estudos em volumes com dimensões menores.

**Palavras-Chave:** análise tridimensional; câmeras comerciais; exatidão; marcador ativo; precisão; videogametría.

### **Introdução**

Os ginastas realizam rotações em torno dos eixos corporais em alguns gestos técnicos esportivos, como por exemplo, nas acrobacias da ginástica artística (GA). Entre as técnicas biomecânicas, a videogametría é uma metodologia biomecânica que

permite a obtenção de variáveis cinemáticas para descrição de movimentos no espaço em situação de competição ou em treino. Durante o treinamento, há a possibilidade de uso de marcadores passivos junto ao corpo do atleta para a obtenção de variáveis cinemáticas relativas aos movimentos corporais com precisão.

Há diversos sistemas existentes que utilizam esta metodologia (*Qualisys Motion Capture Systems, Ariel Performance Analysis System – APAS, OptiTrack Motion Capture Systems, Vicon Motion Systems, Dvideo*). Estes sistemas, utilizam marcadores passivos (retrorefletivos) e utilizam vários conjuntos de câmeras e iluminadores devidamente posicionados de forma que o marcador seja visível na sequência de imagens.

No entanto, o uso de marcador passivo implica em algumas limitações que estão relacionadas ao uso de iluminadores junto às câmeras durante o registro do evento. Deste modo, a fonte de iluminação de uma câmera pode ficar no campo óptico de outras câmeras e assim prejudica o registro do movimento.

Além disso, devido às dimensões do volume necessárias para analisar as acrobacias da GA ser grande, é preciso ter iluminadores mais potentes e/ou ter marcadores maiores (gerando maior desconforto para o atleta).

Para evitar interferências e dificuldades advindas do uso de iluminadores, uma possível solução consiste no uso de um marcador ativo. Há alguns sistemas que não possuem iluminadores, tais sistemas utilizam marcadores ativos de LED (*Light Emitting Diode*) como *Optotrak Motion Capture System, Impulse X2 Motion Capture System, Codamotion System*.

Para analisar gestos técnicos com rotações em torno dos eixos corporais que requerem um volume de aproximadamente (10m x 2,5m x 4) utilizando um sistema de análise cinemática, desenvolvemos um marcador ativo de LED para trabalhar no espectro da luz visível e com a possibilidade de se utilizar de câmeras comerciais. Para desenvolver tal marcador consideramos alguns aspectos que são fundamentais para análise do movimento.

- Tamanho – ser pequeno para não atrapalhar o atleta;
- Esfericidade – Ser o mais próximo de uma esfera que o marcador tenha a mesma característica independentemente da posição da câmera;

- Baterias individuais – Reduzir o cabos elétricos e trajes específicos para a contenção dos mesmos.
- Possuir massa próxima à dos marcadores utilizados em outros sistemas de análise cinemática.
- Autonomia – duração da bateria satisfatória para análise de movimento.

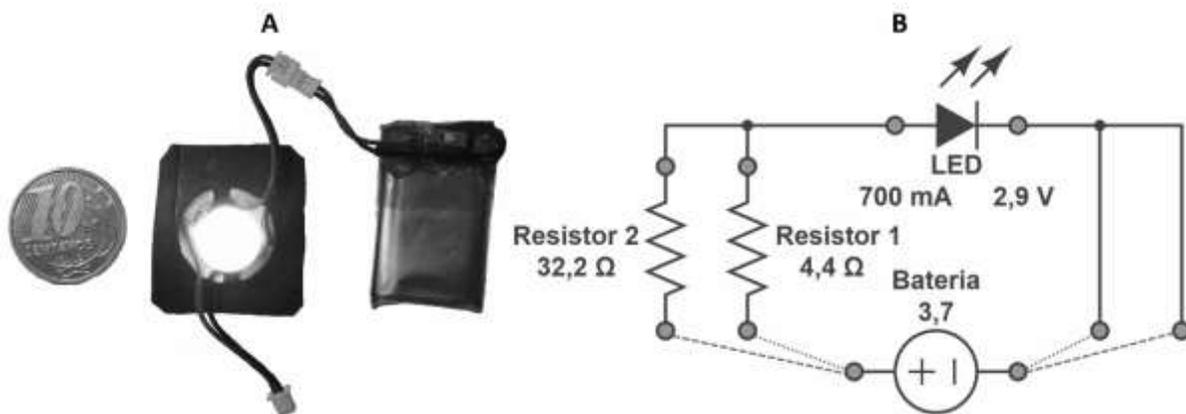
Este trabalho tem como objetivo avaliar o marcador ativo de LED desenvolvido. Os objetivos específicos consistem em: a) validar o marcador desenvolvido comparando-o com os marcadores já utilizados em sistemas comerciais; b) avaliar a exatidão no uso do marcador ativo considerando o volume de calibração necessário para análise do salto sobre a mesa (10m x 2,5m x 4m).

## **Materiais e Métodos**

### **1. O Marcador.**

O marcador consiste em um dispositivo de LED de 3W (corrente máxima 700 mA e tensão de 2,9V) embutido em uma esfera de polipropileno (10mm de diâmetro), afixado em uma base de alumínio de 19mm (dissipador de calor) posicionada sobre uma base de borracha (Figura 3A). O custo dos materiais para construção do marcador ativo de LED é inferior a 10\$ por unidade e o peso deste sem a bateria é aproximadamente 2,3g.

O marcador de LED foi construído tendo um circuito elétrico com 2 resistores para ter duas intensidades de brilho visando o uso em ambientes com diferentes luminosidades (Figura 3B). Para definir os resistores utilizados para confecção do marcador, foi utilizada uma fonte digital com tensão e corrente controladas de forma o marcador seja visível na sequência de imagens. Assim, para ambiente mais iluminados utiliza-se o marcador com maior brilho utilizando o resistor de 4,4 $\Omega$  (brilho-4,4 $\Omega$ ). Para ambiente menos iluminados utiliza-se o marcador com menor brilho utilizando o resistor de 32,2 $\Omega$  (brilho-32,2 $\Omega$ ).



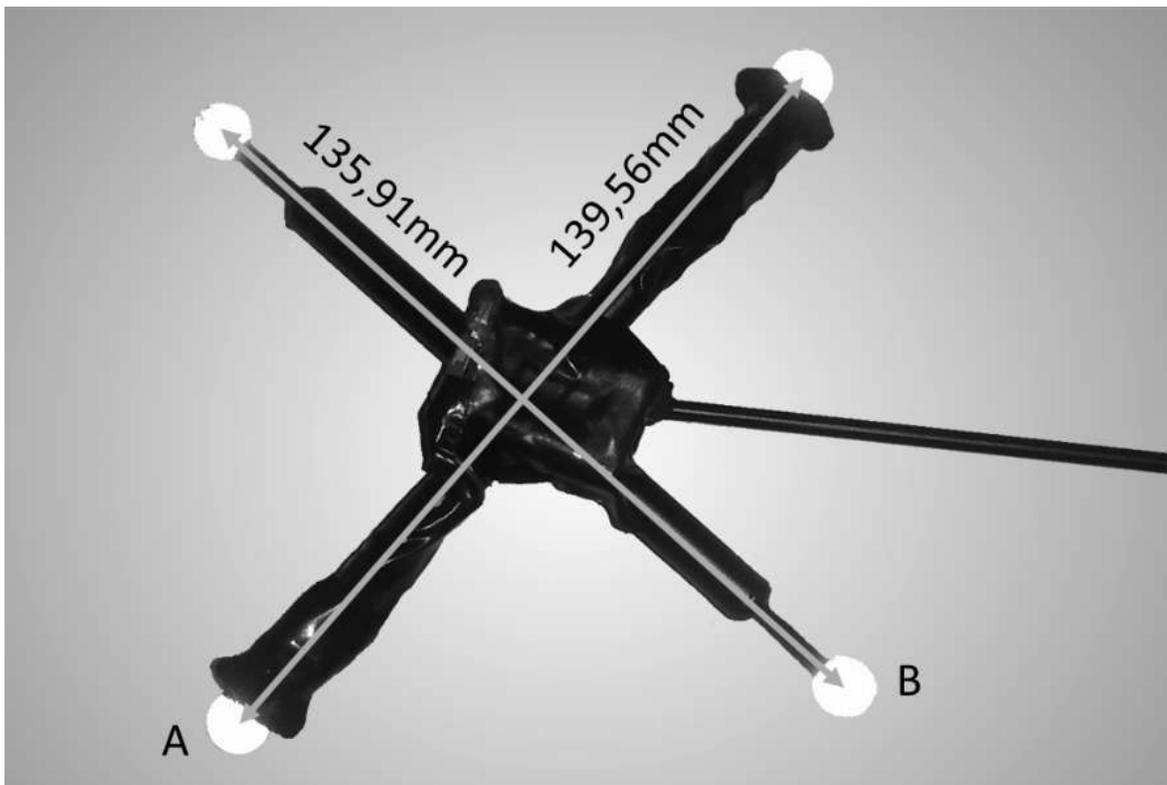
**Figura 3:** Marcador Ativo de LED Desenvolvido e o Circuito de Elétrico do marcador. A ligação com brilho-4,4Ω (maior brilho) é representada pela linha pontilhada e a ligação com brilho-32,2Ω (menor brilho) é representada pela linha tracejada.

Este marcador é alimentado por uma bateria de lítio recarregável de 3,7V e 200mA que pesa aproximadamente 6,3g. e possui um interruptor que permite administrar o uso da carga. Quando está conectada na intensidade brilho-4,4Ω a bateria consegue alimentar o sistema por aproximadamente 1 hora e quando conectada na intensidade brilho-32,2Ω a bateria alimenta o sistema por aproximadamente 7 horas.

## 2. Validação do Marcador

Para verificar se o marcador ativo desenvolvido permite obter dados compatíveis aos marcadores passivos utilizados em diversos sistemas comerciais, foi realizado um experimento (Experimento 1) com ambos marcadores fixados em uma estrutura rígida para colocar ambos os marcadores nas mesmas condições experimentais, ou seja, mesma velocidade do movimento e localização no volume de calibração (Figura 4).

A aferição da distância entre os marcadores fixados nas barras rígidas utilizadas no teste de exatidão foi feita utilizando um paquímetro de precisão. Dois sujeitos realizaram três aferições das distâncias dos marcadores e o valor médio foi adotado como a medida nominal esperada. O valor esperado ( $VE$ ) pela distância entre o centro dos marcadores passivos foi 135,91mm e entre os marcadores ativos 139,56mm (Figura 4).

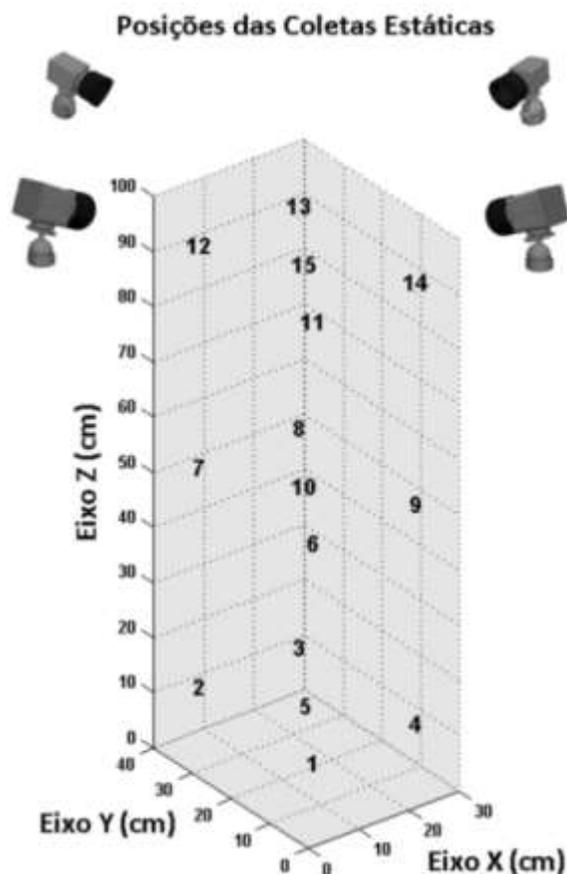


**Figura 4:** Estrutura rígida com marcadores: A = marcadores ativos; B = marcadores passivos.

A estrutura com as barras rígidas foi filmada em duas situações estática e dinâmica. Neste experimento foram utilizadas 4 câmeras (Basler A602fc, resolução 640 x 480 *pixels*, 120Hz, distância focal de 12mm) sincronizadas utilizando um *trigger*. Na situação estática, a estrutura foi posicionada em 15 diferentes posições do volume de coleta (Figura 5) por um segundo (120 *frames*) em cada posição e na situação dinâmica a estrutura foi movimentada pelo volume durante 10 segundos (1200 *frames*).

O volume de calibração foi de 30cm x 40cm x 100 cm e foram utilizados 44 pontos de calibração. Esta condição de filmagem visou obter uma imagem com maior número de *pixels* para definir os marcadores e assim diminuir a variabilidade na determinação do centro do marcador.

A calibração realizada utilizando um método de calibração não linear utilizando um *toolbox* para Matlab® disponível em <https://code.google.com/p/calib/> (1). O rastreamento foi 100% automático e realizado no sistema Dvideo (2, 3) e este mesmo sistema foi utilizado para a obtenção das coordenadas tridimensionais.



**Figura 5:** Esquema representando as posições que foram realizadas as Coletas Estáticas. As câmeras foram posicionadas em torno do volume e na parte superior de forma a visualizar os marcadores da estrutura construída em todas as posições esquematizadas (posições de 1 a 15).

### **3. Teste do marcador ativo no volume do salto sobre a mesa da Ginástica Artística**

O volume utilizado neste estudo foi de aproximadamente 10m x 2,5m x 4m estas dimensões são próximas às utilizadas em outros estudos envolvendo o salto sobre a mesa (10m x 2m x 4m) (4, 5).

Para definir o sistema de referência no ginásio, utilizou-se um equipamento topográfico (laser de cinco pontos), que garante a ortogonalidade dos eixos (x e y) do plano no solo associado da área de salto. Para construção do sistema de referência foram marcados 12 pontos no solo ao longo da área de salto e um medidor de distância a *laser* (trena a *laser*) foi utilizado para obter as medidas destes pontos em relação à origem do sistema de coordenadas. A determinação do eixo vertical (eixo z) foi realizada com o uso de um bastão topográfico (com nível posicioná-lo

perpendicularmente ao solo). Este bastão possui 9 marcas com distâncias conhecidas foi posicionado em cada um dos 12 pontos marcados no solo. Assim, foram utilizados 108 pontos de calibração que foram visualizados por todas as câmeras.

Neste ambiente foram realizados dois experimentos utilizando quatro câmeras de vídeo digitais (JVC modelo GZ-HD620BU, 1920 x 1080). Os vídeos foram convertidos para arquivos em formato AVI (*Audio Vídeo Intervaled*) com frequência de amostragem de 60Hz. Em ambos experimentos uma barra rígida medindo 912,30mm foi movimentada pelo volume do salto sobre a mesa por 37 segundos sendo:

**Experimento 2:** marcador ativo ligado com intensidade brilho-4,4Ω

**Experimento 3:** marcador ativo ligado na situação com brilho-32,2Ω.

Em ambos experimentos foi utilizado o método de calibração semelhante ao experimento 1. As coordenadas de tela (x, y) e as coordenadas tridimensionais foram obtidas utilizando o sistema Dvideo (2, 3) e a sincronização das câmeras por realizada por evento.

#### 4. Análise dos Dados

O *software* Matlab® foi utilizado para análise dos dados. Para verificar a precisão e a exatidão dos dados foram calculados:

- Média:  $\overline{VO} = \sum VO/n$
- Desvio Padrão (DP):  $DP = \sqrt{\sum (VO - \overline{VO})^2/n - 1}$
- Erro Médio (EM):  $EM = \sum (VO - VE)/n$
- Erro Médio Absoluto ( $EM_{Abs}$ ):  $EM_{Abs} = \sum (|VO - VE|)/n$
- Erro Máximo Negativo ( $E_{m\acute{a}x(-)}$ ):  $= E_{m\acute{a}xNeg} = VO_{Min} - VE$
- Erro Máximo Positivo ( $E_{m\acute{a}x(+)}$ ):  $= E_{m\acute{a}xPos} = VO_{Max} - VE$
- Exatidão:  $Exatid\tilde{a}o = \sqrt{EM^2 + DP^2}$
- Variação Erro Máximo =  $\Delta E_{m\acute{a}x} = E_{m\acute{a}xPos} - E_{m\acute{a}xNeg}$
- Erro Médio Absoluto Relativo ( $EM_{AbsRel}$ ):

$$EM_{AbsRel} = EM_{Abs} \times 100 / \sqrt{comp^2 + larg^2 + Alt^2} \text{ (maior diagonal do volume)}$$

Sendo:  $VO$  = Valor observado;  $VE$  = Valor encontrado;  $VO_{Min}$ : = Menor  $VO$  encontrado;  $VO_{Max}$  = Maior  $VO$  encontrado; e  $n$  = Número de observações.

## Resultados

### 1. Resultados do Experimento 1: Avaliação entre os marcadores passivos e ativos

A  $\overline{VO}$  do marcador passivo em cada uma das 15 posições estáticas variaram de 133,53mm a 137,08mm (variação de 3,56mm), e  $VE$  foi de 135,91mm. O marcador ativo apresentou  $\overline{VO}$  entre 139,26mm e 141,84mm (variação de 2,28mm) e o  $VE$  foi de 139,56mm<sup>2</sup>.

A maior  $\Delta E_{máx}$  do marcador ativo em cada uma das 15 posições do volume foi 0,16mm enquanto a variação observada para o marcador passivo foi de 0,26mm, ou seja, o marcador ativo desenvolvido apresentou menor variação na determinação do centro do marcador nas situações estáticas.

A variabilidade dos  $VO$  em cada uma das 15 posições o foi pequena e o  $DP$  mínimo e máximo encontrados foram respectivamente de 0,01mm e 0,06mm para o marcador passivo e para o marcador ativo os valores foram respectivamente de 0,01mm e 0,04mm.

As Figuras 6A e 6C mostram há variações nos  $VO$  conforme o posicionamento do objeto no volume de calibração para ambos os marcadores.

A curva com o erro entre os marcadores passivos na situação dinâmica (Figura 6B) apresenta a mesma variação encontrada na situação estática (Figura 6A). Para os marcadores ativo ocorre da mesma forma (Figuras 6B e 6D).

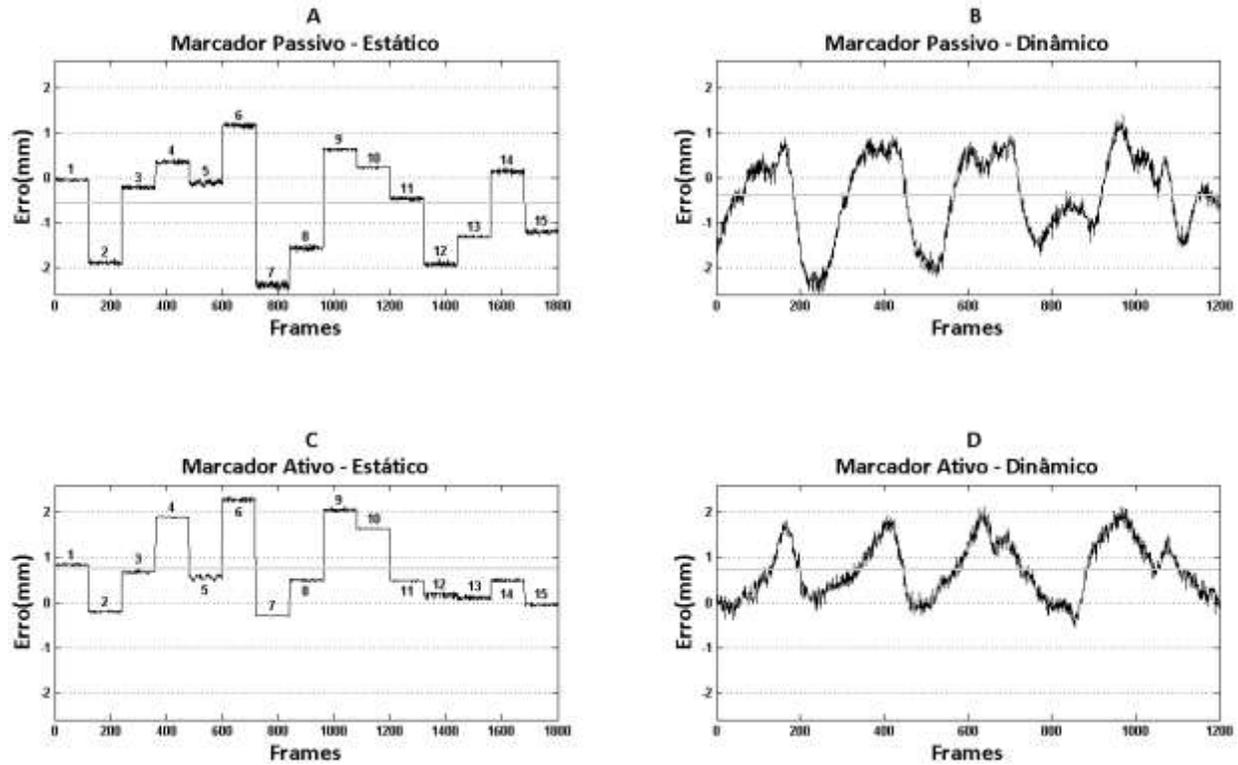
A partir das comparações entre as Figuras 6A e 6C e Figuras 6B e 6D é possível afirmar que o sinal um de alta frequência está relacionado ao um possível erro de identificação do centro do marcador e um sinal de baixa frequência que ocorre devido a posição da barra rígida no volume utilizado para o experimento.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos testes de precisão e exatidão nas situações estática e dinâmica. Em ambas situações o  $\Delta E_{max}$  foram menores para o marcador ativo e o  $EM$  foram superestimados para o marcador ativo e subestimados para o marcador passivo, sendo que os valores apresentados pelos

---

<sup>2</sup> A Tabela com os resultados dos testes de precisão e exatidão nas 15 posições na situação estática é apresentada no anexo 3

marcadores passivos são mais próximos do valor esperado. Porém o  $EM_{Abs}$  para são próximos a 0,80mm para ambos marcadores na situação dinâmica.



**Figura 6:** Erro das barras rígida em relação ao valor esperado. Os gráficos A e C são referentes as 15 coletas realizadas na situação estática e os gráficos C e D são da coleta dinâmica. O erro médio é apresentado pela linha cinza de cada gráfico.

**Tabela 1:** Resultados dos testes de exatidão na situação dinâmica e dos dados obtidos nas 15 posições das coletas estáticas. A distância nominal entre os marcadores passivos é 135,91mm e entre os marcadores ativos 139,56mm.

Situação	Tipo de Marcador	$\overline{VO}$ (mm)	$EM$ (mm)	$DP$ (mm)	$EM_{Abs}$ (mm)	$E_{m\acute{a}x}(-)$ (mm)	$E_{m\acute{a}x}(+)$ (mm)	$\Delta E_{max}$ (mm)
Marcador Ativo	Dinâmica	140,28	0,72	0,63	0,76	-0,56	2,12	2,68
	Estática	140,30	0,74	0,81	0,82	-0,32	2,36	2,68
Marcador Passivo	Dinâmico	135,51	-0,40	0,91	0,80	-2,57	1,40	3,97
	Estática	135,34	-0,57	1,03	0,91	-2,53	1,23	3,76

**Legenda:**  $\overline{VO}$  = Média;  $EM$  = Erro Médio;  $DP$  = Desvio Padrão;  $EM_{Abs}$  = Erro Médio Absoluto;  $E_{m\acute{a}x}(-)$  = Erro Máximo Negativo;  $E_{m\acute{a}x}(+)$  = Erro Máximo Positivo.  $\Delta E_{max}$  = Variação do Erro Máximo.

## 2. Resultados dos Experimentos 2 e 3: Teste com marcador ativo no volume do salto sobre a mesa da GA

Os dados dos experimentos utilizando 2 marcadores ativo com (brilho-4,4 $\Omega$  - maior brilho) e experimento 3 (brilho-32,2 $\Omega$  - menor brilho) são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Resultados dos testes de exatidão dos experimentos 2 (com maior brilho) e experimento 3 (com menor brilho). A distância nominal entre os marcadores é 912,30mm.

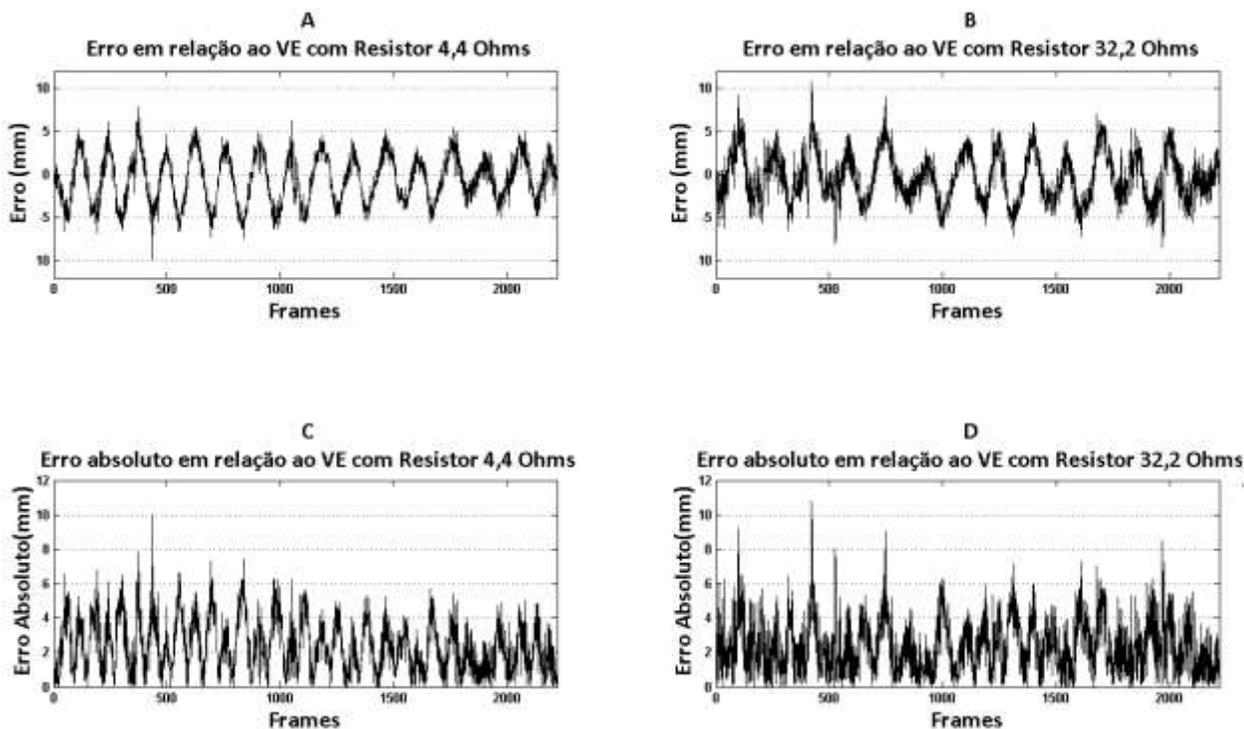
<i>Experimento - Intensidade</i>	$\overline{VO}$ (mm)	<i>EM</i> (mm)	<i>DP</i> (mm)	<i>EM<sub>Abs</sub></i> (mm)	<i>E<sub>máx</sub>(-)</i> (mm)	<i>E<sub>máx</sub>(+)</i> (mm)	<i>Exatidão</i> (mm)
<b>Exp. 2 - Brilho4,4<math>\Omega</math></b>	911,71	-0,59	2,79	2,41	-10,06	7,81	2,86
<b>Exp. 3 - Brilho32,2<math>\Omega</math></b>	911,94	-0,36	2,84	2,38	-8,49	10,78	2,86

Legenda:  $\overline{VO}$  = Média; *EM* = Erro Médio; *DP* = Desvio Padrão; *EM<sub>Abs</sub>* = Erro Médio Absoluto; *E<sub>máx</sub>(-)* = Erro Máximo Negativo; *E<sub>máx</sub>(+)* = Erro Máximo Positivo.

Em ambos experimentos o *EM* foi inferior a 0,60mm. O desvio padrão foi inferior a 2,90mm e os valores de  $|EM_{max}|$  foram inferiores a 11,00mm num volume de (10m x 2,5m x 4m).

A exatidão dos sistemas é 2,86mm e o *EM<sub>Abs</sub>* é inferior a 2,50mm tanto para intensidade brilho-4,4 $\Omega$  quanto para a brilho-32,2  $\Omega$ .

O comportamento da curva do erro dos experimentos 2 e 3 (Figuras 7A e 7B) é semelhante ao teste dinâmico do experimento 1 (Figura 6B e 6D) sugerindo que o sinal de baixa frequência ocorre por causa da posição do objeto dentro do volume. No entanto, num volume cuja a dimensão (10m x 2,5m x 4m) é muito superior às dimensões do experimento 1 (0,3m x 0,4m x 1m) o *EM<sub>Abs</sub>Rel* aponta valores menores para os experimentos 2 e 3 (0,025% e 0,026% respectivamente) em relação ao experimento 1 (0,072%).



**Figura 7:** Erro e valor do erro absoluto das medidas barras rígida em relação ao valor esperado. Os gráficos A e C são referentes ao experimento 2 e os gráficos B e D referem-se ao experimento 3.

## Discussão

A análise movimentos por videogametria em condições específicas podem fazer com que pesquisadores busquem utilizar diferentes materiais em suas pesquisas. Silvatti e colaboradores (6) utilizaram marcadores esféricos pretos de 35mm para dar contraste com o ambiente subaquático (já que normalmente os azulejos das piscinas são claros) e facilitar a detecção dos mesmos. Esta foi a solução encontrada ao trabalhar com o sistema de análise cinemática Dvideo (2, 3).

Utilizando este mesmo sistema para analisar gestos técnicos que os atletas realizam rotações em torno dos eixos corporais como as acrobacias das da ginástica artística motivaram a desenvolver um marcador ativo de LED. Este marcador pode ser utilizado em grandes volumes permitindo o registro destes eventos e eliminar a necessidade de fontes de iluminação junto às câmeras. Desta forma é possível utilizar uma configuração com a redução do número de câmeras para análise destes movimentos.

Para trabalhar com marcadores passivos retrorefletivos em grandes volumes é preciso; a) ter iluminadores mais potentes (para possibilitar a reflexão) ou; b) aumentar a área de reflexão (aumentar o tamanho do marcador). Em dois estudos relacionados com o salto sobre a mesa foram utilizados volumes com dimensões próximas às dos experimentos 2 e 3 e utilizando um sistema comercial com 18 conjuntos de câmeras-iluminadores e marcadores passivos de 25mm (4, 5). O marcador desenvolvido tem 10mm de diâmetro e devido às suas dimensões, interfere menos no desempenho do atleta em relação aos marcadores de 25mm utilizados em outros estudos (4, 5).

Diferente de alguns marcadores ativos comercializados, o marcador desenvolvido foi feito para trabalhar no espectro da luz visível, que permite utilizar câmeras comerciais e o marcador ativo desenvolvido possui maior esfericidade que facilita o registro pela câmera (gerando menos oclusão) e por apresentar baterias individuais não há cabos elétricos passando pelas articulações.

O peso do marcador ativo desenvolvido (8,6 gramas - marcador com a bateria) é maior que a dos marcadores passivos com base de couro de 10mm ( $\cong$  1,0g), 15mm ( $\cong$  2,3g) e 25mm ( $\cong$  6,3g). Porém há marcadores de 25mm com base de borracha que pesam ( $\cong$  8,7g). Como marcador desenvolvido pode ser utilizado em ambientes que normalmente seriam utilizados marcadores de 25mm o peso do conjunto é similar ao encontrado há alguns marcadores passivos deste diâmetro.

A bateria recarregável acarreta em um baixo custo experimental e autonomia de aproximadamente 1 hora quando ligado no brilho-4,4 $\Omega$  e 7 horas quando ligado no brilho-32,2 $\Omega$  é satisfatória para analisar diversos tipos de movimentos e o interruptor permite otimizar o uso da carga, porém como cada marcador possui uma bateria individual, dispense certo tempo para ligar e desligar os marcadores.

O experimento 1 mostra que o marcador ativo desenvolvido é mais preciso que o marcador passivo de mesma dimensão pois apresentou menor dispersão dos dados. O  $DP$  e  $\Delta E_{m\acute{a}x}$  do marcador ativo (0,63mm e 2,68mm respectivamente) e os marcadores passivos (0,91mm e 3,97mm).

Os dados obtidos nos experimentos 2 e 3 realizados neste trabalho no volume com dimensões (10m x 2,5 m x 4m) podem ser comparados a experimentos

realizados com vários sistemas comerciais de análise do movimento em um volume com dimensões (3m x 0,6m x valor não indicado) (7). O  $EM$  encontrado utilizando o sistema Dvideo com os marcadores ativos com ambas as intensidades de brilho foi menor a todos os sistemas comerciais. Os demais dados,  $DP$ ,  $EM_{Abs}$ ,  $E_{m\acute{a}x}(-)$  e  $E_{m\acute{a}x}(+)$  e Exatidão foram valores intermediários aos obtidos pelo autor (Tabela 3).

**Tabela 3:** Resultados dos testes de exatidão de alguns sistemas comerciais comparados com os dados obtidos utilizando o sistema Dvideo com marcador ativo.

Sistema	$EM$ (mm)	$DP$ (mm)	$EM_{Abs}$ (mm)	$E_{m\acute{a}x}(-)$ (mm)	$E_{m\acute{a}x}(+)$ (mm)	Exatidão (mm)
Quick Mag*	2,6	2,8	3,2	-4,6	9,5	3,8**
Video Locus*	1,0	1,7	1,4	-5,2	2,1	2,0**
Peak*	5,3	4,2	5,3	-14,2	0,6	6,8**
Ariel*	5,0	6,0	6,3	-26,3	10,8	7,8**
Vicon*	2,3	1,2	2,3	-1,6	4,9	2,6**
Elite*	3,2	0,9	3,2	-5,6	0,4	3,3**
Kinemetrix 3D*	3,0	3,8	3,3	-12,1	5,1	4,8**
Optotrack*	1,0	0,8	0,9	-1,2	0,01	1,3**
Dvideo – brilho-4,4 $\Omega$	-0,59	2,79	2,41	-10,06	7,81	2,86
Dvideo – brilho-32,2 $\Omega$	-0,36	2,84	2,38	-8,49	10,78	2,86

**Legenda:**  $\bar{V}\bar{O}$  = Média;  $EM$  = Erro Médio;  $DP$  = Desvio Padrão;  $EM_{Abs}$  = Erro Médio Absoluto;  $E_{m\acute{a}x}(-)$  = Erro Máximo Negativo;  $E_{m\acute{a}x}(+)$  = Erro Máximo Positivo.

\*Fonte: (7). Dimensões do Volume (3m x 0,6m x valor não indicado).

\*\*Valores calculados a partir dos dados dos autores.

A exatidão de 2,86mm obtida nos experimentos 2 e 3 é próxima à de um estudo realizado também realizado com câmeras comerciais JVC que apresentou exatidão de 2,7mm em um volume de aproximadamente 3m x 1m x 2m(8).

Portanto, os dados referentes à exatidão quando comparados com outros estudos permitem afirmar que o marcador ativo desenvolvido de 10mm possibilitou obter dados confiáveis em volumes de até (10m x 2,5 m x 4m) com ambas as intensidades (brilho-4,4 $\Omega$  e brilho-32,2 $\Omega$ ). A escolha da intensidade a ser utilizada deve ser feita conforme a luminosidade do ambiente de coleta.

## Conclusão

O marcador ativo de LED desenvolvido possui: a) baterias individuais – elimina a necessidade de cabos elétricos passando pelo corpo do avaliado; b) bateria recarregável – baixo custo experimental; c) duas intensidades de brilho – adequação do marcador à iluminação do ambiente de coleta a carga que é de 1 ou 10 horas dependendo da luminosidade do ambiente; d) interruptor – permite otimizar o uso da carga; e) as dimensões do marcador (10mm de diâmetro) – pode ser visualizado em um volume com dimensões de 10m x 2,5 m x 4m e possibilitam a colocação em pontos anatômicos gerando menor desconforto no avaliado. f) o investimento em material para construção do marcador ativo de LED apresentado neste estudo foi inferior a 10\$ por unidade. Sendo assim, uma solução de baixo custo no desenvolvimento do dispositivo.

O experimento realizado para validação do marcador desenvolvido mostra que o marcador ativo de LED possui  $EM_{Abs}$ ,  $DP$  e  $\Delta E_{max}$  menores que os marcadores passivos de mesmo diâmetro. Portanto, este marcador mostra-se adequado para análise de movimentos.

A aplicação deste marcador no volume de (10m x 2,5 m x 4m) mostra que é possível obter dados confiáveis de com ambas as intensidades (brilho-4,4 $\Omega$  e brilho-32,2 $\Omega$ ), em volumes com dimensões que permitem analisar movimentos acrobáticos como o salto sobre a mesa.

Deste modo, o marcador ativo de LED apresentado neste estudo oferece mais flexibilidade na questão do enquadramento do volume calibração para as acrobacias da GA por evitar interferências advindas do uso de iluminadores, e por operar no espectro da luz visível permite utilizar câmeras comerciais.

## Referências Bibliográficas

1. Silvatti AP, Telles, T., Rossi M, Dias FAS, Leite NJ, Barros RML, editors. Underwater non-linear camera calibration: an accuracy analysis. 28th International Conference on Biomechanics in Sport; 2010; Michigan, EUA.
2. Barros RMLd, Brenzikofer R, Leite NJ, Figueroa PJ. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica. 1999;15(1-2):79-86.

3. Figueroa PJ, Leite NJ, Barros RML. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Computer methods and programs in biomedicine*. 2003;72(2):155-65.
4. Jackson MI, Hiley MJ, Yeadon MR. A comparison of Coulomb and pseudo-Coulomb friction implementations: Application to the table contact phase of gymnastics vaulting. *Journal of Biomechanics*. 2011;44(15):2706-11.
5. Yeadon MR, Jackson MI, Hiley MJ. The influence of touchdown conditions and contact phase technique on post-flight height in the straight handspring somersault vault. *Journal of Biomechanics*. 2014;47(12):3143-8.
6. Silvatti AP, Salve Dias FA, Cerveri P, Barros RML. Comparison of different camera calibration approaches for underwater applications. *Journal of Biomechanics*. 2012;45(6):1112-6.
7. Ehara Y, Fujimoto H, Miyazaki S, Tanaka S, Yamamoto S. Comparison of the performance of 3D camera systems. *Gait & Posture*. 1995;3(3):166-9.
8. Carmo AAd, Barros RMLd. *Análise cinemática da movimentação dos membros superiores e inferiores, tronco e cabeça durante a marcha de hemiparéticos*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2009.

## **Capítulo 2 – Aplicação e validação de um marcador ativo de LED para análise cinemática 3D no salto sobre a mesa da ginástica artística.**

### **Resumo**

O salto sobre a mesa ser um dos movimentos mais estudados da ginástica artística. Nesta prova os atletas realizam rotações em torno dos eixos corporais e requerem um grande volume para serem analisados. As dimensões do volume de calibração e as rotações requerem o uso de mais câmeras que em condições laboratoriais e analisar estes movimentos com sistemas comerciais de análise cinemática requer um alto investimento. Os objetivos deste estudo consistem em aplicar e validar um marcador ativo de LED para análise cinemática no salto sobre a mesa da ginástica artística utilizando 8 câmeras comerciais. O sistema apresentou exatidão compatível à encontrada em outros estudos. Utilizamos menos câmeras que em outros estudos e não foram registrados 3 marcadores em cada segmento corporal no máximo 3 *frames* consecutivos. A maior diferença entre a avaliação antropométrica e a média os valores obtidos foi 1,5 cm. Os resultados mostram que utilizar marcadores ativos de LED permitem a análise do salto sobre a mesa utilizando menor número de câmeras e mostram que é possível fornecer informações para a melhoria do desempenho esportivo de gestos técnicos em volumes com dimensões de até 10m x 2,5m x 4m.

**Palavras-Chave:** Cinemática; Salto sobre a mesa; Marcador ativo de LED; Ginástica Artística.

### **Introdução**

Alguns gestos técnicos esportivos, como por exemplo, o salto sobre a mesa da ginástica artística (GA), requerem grandes volumes para serem analisados e os atletas realizam rotações em torno dos eixos corporais.

O salto sobre a mesa é um dos movimentos mais estudados da ginastica artística (1), e a maior parte dos estudos que realizaram análise cinemática por videogametria foram realizados com atletas em ambiente de competição (2-10).

Utilizar marcadores retrorefletivos para analisar movimentos com

rotações em torno do eixo transversal é necessário de uma quantidade elevada de câmeras, pois o posicionamento necessário para o registro dos marcadores faz com que os iluminadores das câmeras fiquem no campo óptico de outras câmeras inutilizando partes das imagens. Além disso, para utilizar com marcadores retrorefletivos em grandes volumes é preciso ter iluminadores com alto brilho e/ou aumentar o tamanho dos marcadores. Nos estudos que abordaram o salto sobre a mesa utilizando sistemas comerciais foram utilizadas 14(11) e 18 câmeras (12, 13) e marcadores retrorefletivos de 25mm.

Há alguns sistemas de análise cinemática por videogametria que não utilizam iluminadores pois utilizam marcadores ativos de LED. Porém, em ambos os casos, o investimento para aquisição destes sistemas é elevado. Por isso, desenvolvemos um marcador ativo de LED para analisar estes gestos técnicos com pouco investimento, tal marcador opera no espectro da luz visível e pode ser registrado em grandes volumes.

Os saltos sobre a mesa são exercícios rápidos e a GA é uma modalidade que exige um padrão de movimento. O desvio postural resulta em uma falha que é penalizada pela arbitragem, portanto, os exercícios dos atletas devem ser parecidos com um modelo pré-estabelecido. A videogametria permite quantificar as variáveis cinemáticas do movimento em questão podendo auxiliar na detecção de falhas e aprimorar o desempenho dos atletas.

O objetivo deste estudo consiste em validar um marcador ativo de LED para análise cinemática do salto sobre a mesa da ginástica artística. Os objetivos específicos foram: a) avaliar a exatidão considerando o volume (dimensão) e enquadramento específico da modalidade; b) obter as coordenadas tridimensionais (3D) dos segmentos corporais avaliar as medidas antropométricas obtidas pela videogametria utilizando um sistema com 8 câmeras; c) calcular o CM de um atleta realizando um salto sobre a mesa utilizando os marcadores ativos de LED para obtenção de variáveis pertinentes para análise do salto sobre a mesa.

## **Materiais e Métodos**

### **1. O Volume**

As dimensões espaciais do volume do utilizado para análise do salto sobre a mesa são de 10m x 2,5m x 4m. O sistema de referência foi construído utilizando um bastão topográfico com 9 marcas com distâncias conhecidas que foi colocado perpendicularmente ao solo em 16 pontos posições. Assim foram utilizados 144 pontos com coordenadas 3D conhecidas para construção do volume de calibração.

### **2. As Câmeras**

Foram utilizados 2 conjuntos de câmeras:

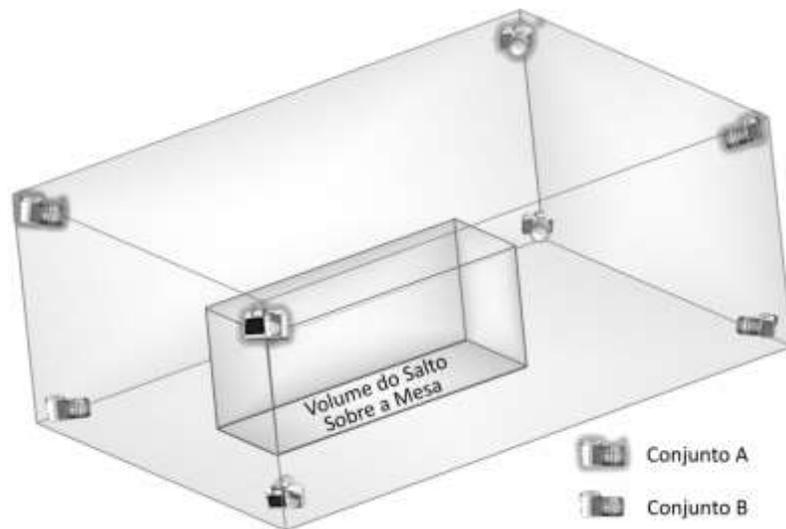
- **Conjunto A (Conj.A)** – Composto por 04 câmeras de vídeo digitais (JVC GZ-HD620BU, 1920x1080 *pixels*, frequência de amostragem de 60 Hz).
- **Conjunto B (Conj.B)** – Composto por 04 câmeras de vídeo digitais (JVC GZ-HD10U, 1440x1080 *pixels*, frequência de amostragem de 60 Hz).

Os vídeos foram convertidos para arquivos em formato AVI (*Audio Vídeo Intervaled*) e a sincronização das câmeras foi realizada por um evento comum registrado por todas as câmeras.

Como o atleta realiza rotações no eixo longitudinal, o Conj.A foi posicionado na parte superior (aproximadamente 5 m do solo) e inclinadas para baixo e o Conj.B foi posicionado próximo ao solo e inclinados para cima (Figura 8). Esta configuração foi montada com o intuito de obter as coordenadas 3D dos segmentos corporais em todas as fases do salto sobre a mesa avaliadas pela arbitragem.

### **3. O Marcador.**

Os marcadores ativos utilizados foram construídos utilizando LED de 3W (corrente máxima 700 mA e tensão de 2,9V). Cada marcador possui um resistor de 32,2 $\Omega$  e embutido em uma esfera de polipropileno (10mm de diâmetro) sobre uma base de alumínio de 19mm (dissipador de calor). Este marcador possui um interruptor e é alimentado por uma bateria de lítio recarregável de 3,7V e 200mA. Que alimenta o sistema por aproximadamente 7 horas.



**Figura 8:** Esquema com o posicionamento das Câmeras.

#### **4. Calibração das Câmeras e Obtenção das Coordenadas Espaciais**

Foi utilizado um toolbox para correção da distorção ótica implementado para utilização em ambiente Matlab® (14).

O sistema Dvideo (15, 16) foi utilizado para rastreamento dos marcadores para obtenção das coordenadas de tela (x, y) que definem o modelo de representação corporal. E as coordenadas tridimensionais dos marcadores foram obtidas utilizando as equações apresentadas por Abdel-Aziz e Karara (17).

#### **5. Desenho Experimental e Características do Sujeito**

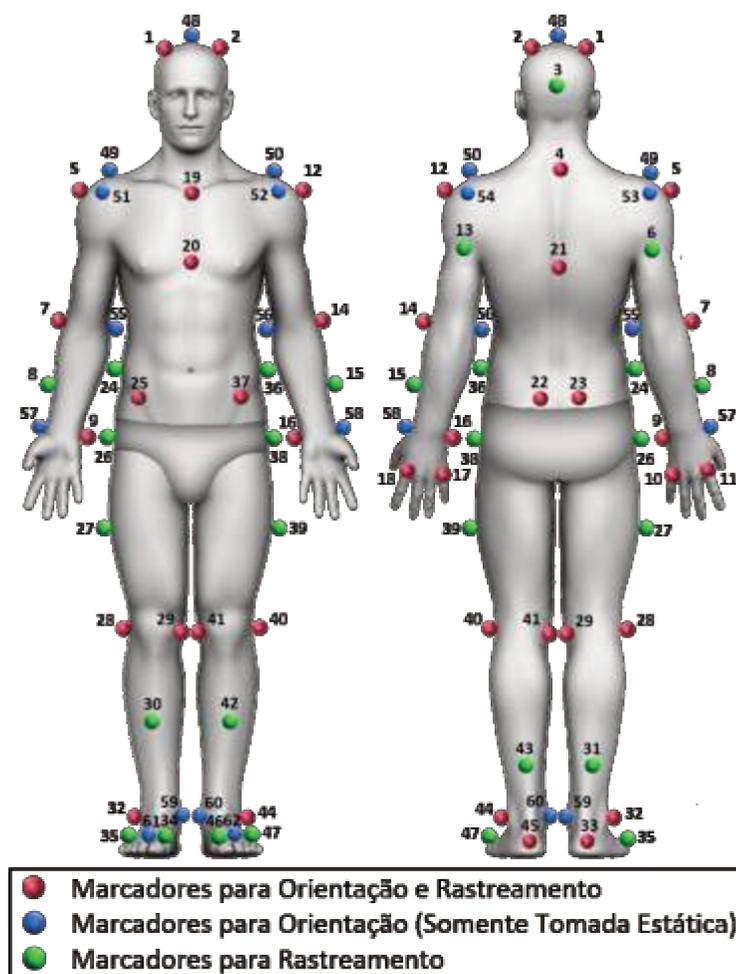
Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP<sup>3</sup>, protocolo No. 22421413.1.0000.5404. A metodologia proposta foi aplicada com um sujeito do sexo masculino de 17 anos, atleta da modalidade há 6 anos com carga horária de treinamento de 4 horas por dia e frequência semanal de 5 vezes.

O sujeito foi submetido a uma avaliação antropométrica (18) adaptado por De Leva(19). Foram coletados: massa corporal, estatura, comprimento e perímetro dos segmentos corporais. Para aquisição destes dados foram utilizados: balança, paquímetro de segmentos e fita métrica.

---

<sup>3</sup> O título da dissertação é diferente do que aparece no anexo 1: Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa e no anexo 2: termo de consentimento livre e esclarecido. Na sessão, delineamento do projeto da introdução explicamos os motivos que levaram a realizar a mudança do título.

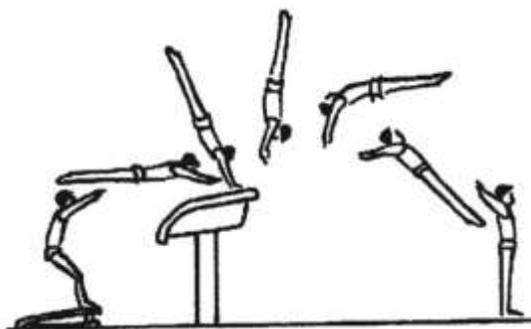
Para representação do corpo do atleta foram utilizados 62 marcadores esféricos ativos de LED com baterias independentes com 10 mm de diâmetro afixados, com fita analérgica dupla face e *kinesiotape*, em pontos anatômicos e/ou marcas técnicas do tronco e membros do sujeito na posição anatômica (em pé), de acordo com o modelo de representação corporal (Figura 9)<sup>4</sup>. Nesta condição foi realizada uma coleta do sujeito na posição anatômica.



**Figura 9:** Modelo de Representação Corporal Completo  
**Fonte:** (20) Adaptado.

Após este procedimento foram removidos 15 marcadores (marcadores representados em azul na Figura 9), e então o atleta foi liberado para realizar um aquecimento corporal e em seguida o atleta foi orientado a realizar o salto Reversão sobre a mesa (Figura 10).

<sup>4</sup> Os pontos anatômicos utilizados para posicionamento dos marcadores são apresentados no anexo 4.



**Figura 10:** Salto Reversão.  
**Fonte:**(21) p.96.

Além dos marcadores utilizados nos sujeitos outros 10 marcadores ativos foram afixados na mesa de salto e no trampolim para orientar a posição destes objetos e identificar o momento do toque com os mesmos através da movimentação dos mesmos.

## 6. Modelo de Representação Corporal

O modelo de representação do corpo humano utilizado é composto por 16 segmentos corporais rígidos e articulados: cabeça, tórax, abdome, pelve, braços, antebraços, mãos, coxas, pernas e pés (direito e esquerdo) os pontos anatômicos utilizados para definir estes segmentos no plano vertical (eixo z) são apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1:** Pontos anatômicos dos segmentos corporais utilizados para predição do Centro de Massa.

<i>Segmento</i>	<i>Início do Segmento</i>	<i>Fim do Segmento</i>
Cabeça	Vértice da Cabeça	C7
Tórax (Tronco Superior)	C7	Processo Xifoide
Abdome (Tronco Médio)	Processo Xifoide	Umbigo*
Pelve (Tronco Inferior)	Umbigo*	Ponto Médio Quadril
Braços	CA Ombro	CA Cotovelo
Antebraços	CA Cotovelo	CA Punho
Mãos	CA Punho	Cabeça do 3° Metacarpal**
Coxas	CA Quadril	CA Joelho
Pernas	CA Joelho	CA Tornozelo
Pés	Calcâneo	Cabeça do 2° Metatarsal***

\*Foi considerado como umbigo o ponto médio entre o topo das cristas ilíacas direita e esquerda.

\*\*Foi considerado o ponto médio entre a cabeça dos metacarpais dos dedos indicador e mínimo.

\*\*\*Os cálculos utilizados para determinar a posição do centro de massa dos pés são apresentados no anexo 5.

## 7. Validação

Um teste de barra rígida foi realizado para verificar a precisão e a exatidão do sistema e foram analisados o erro médio, o erro médio absoluto, o desvio padrão (DP) e a exatidão sendo este último, dado pela equação:

$$Exatidão = \sqrt{EM^2 + DP^2}$$

O posicionamento e enquadramento das câmeras foi avaliado verificando a presença de pelo menos 3 marcadores em cada segmento corporal.

Para verificar o erro experimental (considerando as câmeras utilizadas para reconstrução tridimensional e movimentação dos marcadores sobre os pontos anatômicos por estarem posicionados sobre a pele) comparamos o comprimento dos segmentos corporais do protocolo apresentado por Zatsiorky (18) e adaptado por De Leva(19) e com a média do comprimento dos segmentos obtidos pela videogametria e DP.

E por fim, apresentamos alguns dados do salto sobre a mesa da ginástica artística nas 5 diferentes fases avaliadas pela arbitragem: a) contato com a prancha de impulsão (trampolim); b) primeiro voo (fase aérea entre o trampolim e a mesa de salto); c) contato com a mesa de salto; d) segundo voo (fase aérea após o contato com a mesa de salto e; e) aterrissagem.

## Resultados

Uma barra rígida medindo 912,3mm foi movimentada pelo volume de calibração, a exatidão do sistema variou entre 2,5mm e 3,6mm para as câmeras com diferentes resoluções e o erro médio absoluto foi inferior a 3mm em todas as combinações analisadas (Tabela 4).

**Tabela 4:** Teste de exatidão do sistema com barra rígida. A distância nominal esperada é 912,3mm.

Câmeras utilizadas na reconstrução 3D	Média (mm)	Erro Médio (mm)	Desvio Padrão (mm)	Erro Médio Absoluto (mm)	Exatidão (mm)
Todas	912,4	0,1	2,7	2,3	2,7
JVC – 1920 x 1080	912,8	0,5	2,5	2,1	2,5
JVC – 1440 x 1080	911,7	-0,6	3,5	2,8	3,6

O marcador ativo de LED utilizado tem apenas 10 mm de diâmetro. Mesmo utilizando apenas oito câmeras (4 com vista superior e 4 com vista inferior) para analisar um movimento que o atleta realiza uma rotação em torno do eixo transversal, foram poucos *frames* que não foram registrados 3 marcadores em cada segmento corporal sendo no máximo 3 *frames* consecutivos (Tabela 5).

As maiores perdas foram nos braços, sendo o momento crítico quando os mesmos estavam elevados ao lado das orelhas. E na incisura jugular no momento que as mãos estavam em contato com a mesa de salto.

**Tabela 5:** Número de quadros que não foram registrados 3 marcadores para orientar segmento.

<b>Segmento</b>	<b>Número de frames interpolados</b>
Cabeça	0
Tronco Superior	3
Tronco Médio	0
Tronco Inferior	0
Braço Direito	5 (máximo 3 frames consecutivos)
Braço Esquerdo	2
Antebraço Direito	1
Antebraço Esquerdo	0
Mão Direita	0
Mão Esquerda	0
Coxa Direita	0
Coxa Esquerda	1
Perna Direita	0
Perna Esquerda	0
Pé Direito	0
Pé Esquerdo	0

Nas coordenadas 3D do salto sobre a mesa utilizamos o filtro digital passa baixa butterworth de terceira ordem com frequência de corte 10Hz e para definí-la fizemos uma análise residual.

Para verificar os erros do sistema utilizado para análise do salto no modelo de representação corporal devido á oclusão dos marcadores (câmeras utilizadas para reconstrução tridimensional) e a movimentação dos marcadores sobre os pontos anatômicos (por estarem sobre a pele) utilizamos a média do comprimento dos segmentos corporais e o desvio padrão. Estes dados e o comprimento dos segmentos

corporais utilizando o protocolo de avaliação antropométrica proposto por Zatsiorky (18) e utilizando os ajustes para os pontos anatômicos utilizados para definir os segmentos (19) são apresentados na Tabela 6.

A maior diferença entre a avaliação antropométrica e a média do comprimento dos valores obtidos pela videogametria foi 1,5cm e o maior desvio padrão foi de 2,5cm (Tabela 6).

Como o objetivo do atleta é obter um 2º voo com a maior amplitude possível, durante as fases de contato com a prancha de impulsão e com a mesa de salto as velocidades horizontais diminuem enquanto as velocidades verticais aumentam. O atleta é penalizado caso haja um deslocamento no sentido médio lateral conforme esperado, a velocidade médio-lateral mostra que houve pouco deslocamento lateral durante a execução do exercício (Tabela 7).

**Tabela 6:** Comparação do comprimento dos segmentos corporais das medidas obtidas pelo paquímetro utilizando o protocolo proposto por De Leva (1996) e a média dos valores obtidos pela videogametria.

<b>Segmento Corporal</b>	<b>Valor Obtido pela Antropometria (cm)</b>	<b>Média dos Valores Obtidos pela Cinemetria (cm)</b>	<b>Desvio Padrão (cm)</b>
Cabeça	24,6	25,1	1,2
Tronco Superior	25,0	23,5	1,5
Tronco Médio	21,8	22,4	1,3
Tronco Inferior	15,7	15,5	1,6
Braço Direito	28,6	27,4	1,2
Braço Esquerdo	29,1	28,1	2,5
Antebraço Direito	24,8	25,8	1,6
Antebraço Esquerdo	24,8	25,3	1,0
Mão Direita	9,0	8,1	1,2
Mão Esquerda	9,1	8,8	2,0
Coxa Direita	38,9	39,0	2,2
Coxa Esquerda	38,2	38,0	2,4
Perna Direita	38,1	36,7	1,2
Perna Esquerda	37,7	36,6	1,2
Pé Direito	19,2	20,1	1,5
Pé Esquerdo	19,1	19,6	1,6

**Tabela 7:** Velocidades Vertical e Velocidade da Progressão e Médio-Lateral.

	<b>Velocidade Vertical (m/s)</b>	<b>Velocidade de Progressão (m/s)</b>	<b>Velocidade Médio-Lateral (m/s)</b>
TD Trampolim	-1,47	7,03	-0,06
TO Trampolim	3,97	4,29	-0,07
$\Delta V$ Trampolim	5,44	-2,74	0,01
TD Mesa de Salto	1,49	4,22	-0,09
TO Mesa de Salto	2,33	2,95	-0,12
$\Delta V$ Mesa de Salto	0,84	-1,27	0,03
TD Colchão	-5,22	3,08	-0,25

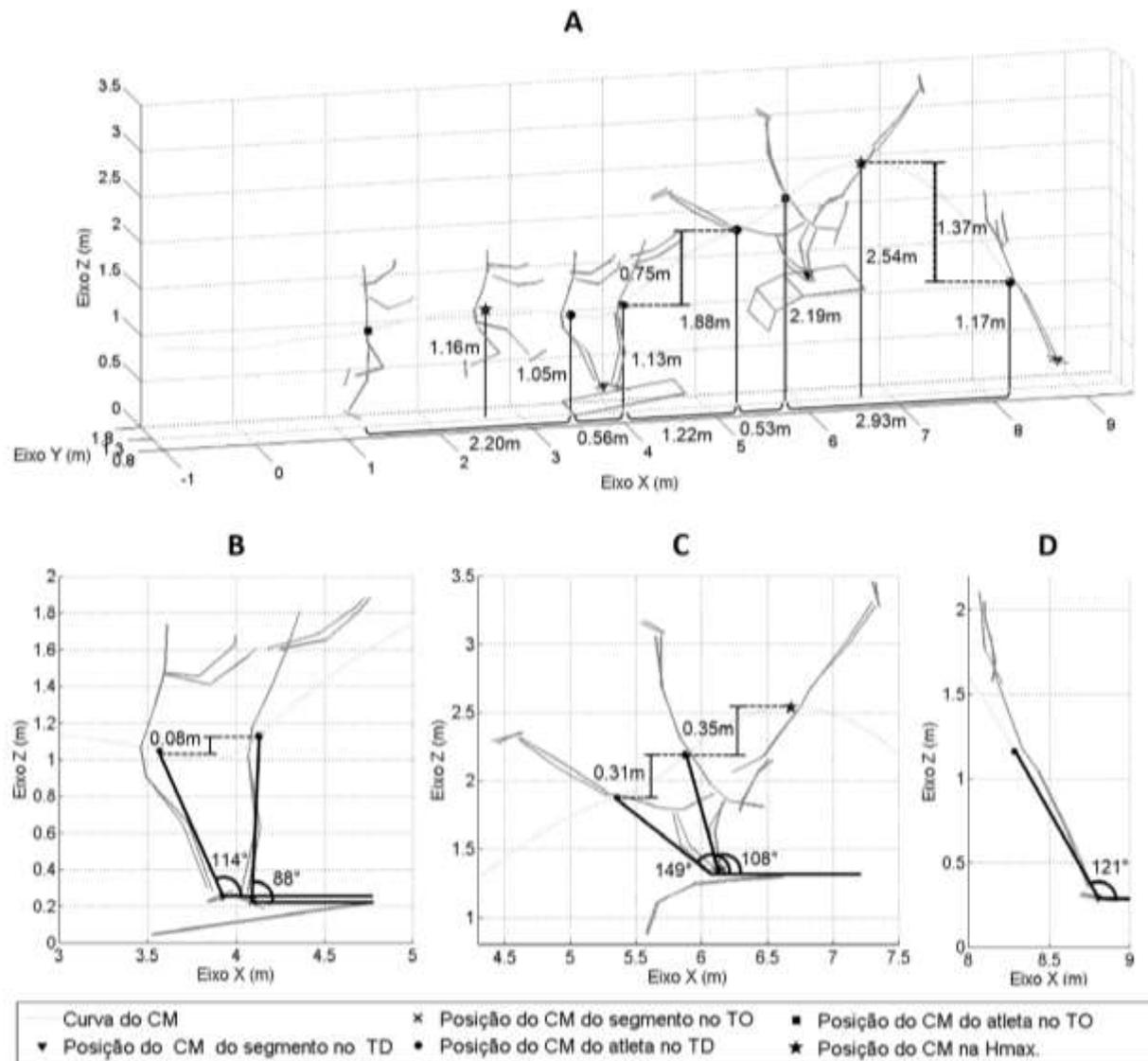
TD = Touchdown; TO = Takeoff;  $\Delta V$  = Variação da Velocidade; Velocidade vertical – positivo para cima; Velocidade de progressão – positivo na direção da corrida; Velocidade Médio-Lateral – positivo para a esquerda;

Os deslocamentos horizontais do CM desde o último passo da corrida, *touchdown* (TD) e *takeoff* (TO) no trampolim e na mesa de salto e TD no colchão (aterrissagem) e a altura do CM nestes momentos bem como a altura máxima do salto que antecede do TD no trampolim e no 2º voo são apresentados na Figura 11A.

O ângulo do CM do atleta em relação à uma linha horizontal traçada no ponto médio do CM dos pés direito e esquerdo ao ponto médio do CM dos pés no TD e no TO no trampolim e a variação da altura do CM nestes instantes são apresentados na Figura 11B

Na Figura 11C são apresentados os ângulos do CM do atleta em relação à uma linha horizontal traçada no ponto médio do CM das mãos direita e esquerda no TD e no TO na mesa de salto e a variação da altura do CM nestes instantes e entre o TO da mesa de salto e a altura máxima.

E o ângulo do CM no TD no colchão é apresentado na Figura 1D.



**Figura 11:** Deslocamento Horizontal ( $\Delta X$ ); Altura do Centro de Massa (CM); Ângulos de Touchdown (TD) e Takeoff (TO); e Variação da Altura do CM ( $\Delta H$ ) entre TD e TO e TO Altura máxima (Hmáx).

## Discussão

Posicionar quatro câmeras na parte superior (aproximadamente a 5 metros do solo) e quatro câmeras próximas ao solo de forma que todas enquadrassem todo o volume de calibração permitiu obter EMA e DP similares aos obtidos em outros estudos realizados utilizando sistemas comerciais (22, 23) e os dados referentes à exatidão também são comparáveis aos encontrados em outros trabalhos com dimensões inferiores à utilizadas em nosso estudo (24, 25)

O marcador ativo de LED utilizado em nosso estudo tem apenas 10mm de diâmetro e devido às suas dimensões, gera menor desconforto que os marcadores de 25mm utilizados em outros estudos do salto sobre a mesa (12, 13). Além disso, a disposição e o número de câmara (oito câmeras) utilizadas neste estudo mostraram-se satisfatórios para analisar o salto que nos propusemos. No entanto, mais testes são necessários em movimentos mais complexos (que o atleta realiza mais rotações em torno dos eixos corporais).

Para verificar os erros embutidos no modelo de representação corporal devido a oclusão dos marcadores e deslizamento de pele utilizamos a média dos valores obtidos e desvio padrão comparado ao protocolo (Tabela 5). A maior diferença entre média do comprimento dos segmentos corporais obtidos pela videogametria e o protocolo de medição dos segmentos corporais com paquímetro adaptado (19) foi 1,5cm. Um estudo que comparou protocolos com marcadores em pontos anatômicos e técnicos na marcha e na corrida em esteira ergométrica obteve desvio padrão de até 1,69cm (26). Em nosso estudo em 11 segmentos o desvio padrão foi menor que este valor, porém este valor chegou a 2,5cm no segmento tronco superior (tórax).

Até 1992 havia o programa obrigatório, ou seja, todos os atletas tinham que executar os mesmos movimentos. No programa obrigatório dos Jogos Olímpicos de Barcelona (1992) foram comparadas as 20 maiores e as 20 menores notas da prova de salto sobre o cavalo (5). Neste ano o salto que os atletas tinham era parecido com o analisado neste estudo, a diferença era que o atleta tinha que realizar um giro de 360° no eixo longitudinal após o contato com a mesa de salto (segundo voo).

A tabela 8 apresenta variáveis que foram encontradas diferenças significativas entre o grupo de atletas com as 20 maiores e as 20 menores notas (5) e os valores obtidos pelo atleta do nosso estudo.

O atleta participante deste estudo apresentou maior  $\Delta H_{1^\circ \text{voo}}$  que os atletas que obtiveram as maiores e as menores notas. Como durante este deslocamento o atleta estava sobre a ação da gravidade isto fez com que reduzisse a velocidade vertical no  $TD_{\text{Mesa}}$  e no  $TO_{\text{Mesa}}$  fazendo com que estas fossem menores. E como consequência a  $H_{\text{máx}2^\circ \text{voo}}$  e  $\Delta H_{TO_{\text{Mesa}} - H_{\text{máx}2^\circ \text{voo}}}$  fossem que os atletas participantes dos jogos olímpicos de 1992.

**Tabela 8:** Comparação das variáveis com diferença significativa entre os grupos com as 20 maiores e as 20 menores notas nos jogos olímpicos de 1992 (5) e os dados do atleta participante deste estudo.

	<b>Maiores Notas</b>	<b>Menores Notas</b>	<b>Atleta deste estudo</b>
Velocidade Horizontal $TO_{Trampolim}$ [m/s]	$5,89 \pm 0,29$	$5,45 \pm 0,33$	4,29
$\Delta H TO_{Trampolim} - TD_{Mesa} (\Delta H_{1^\circ voo})$ [m]	$0,42 \pm 0,05$	$0,49 \pm 0,06$	0,75
Ângulo $TD_{Mesa}$ [°]	$149 \pm 4$	$142 \pm 6$	145
Ângulo $TO_{Mesa}$ [°]	$107 \pm 7$	$101 \pm 6$	108
Velocidade Vertical $TD_{Mesa}$ [m/s]	$2,55 \pm 0,49$	$2,09 \pm 0,49$	1,49
Velocidade Vertical $TO_{Mesa}$ [m/s]	$3,38 \pm 0,33$	$2,76 \pm 0,36$	2,33
Altura máxima ( $H_{máx2^\circ voo}$ ) [m]	$2,84 \pm 0,12$	$2,68 \pm 0,10$	2,54
$\Delta H TO_{Mesa} - H_{máx2^\circ voo}$ [m]	$0,58 \pm 0,10$	$0,41 \pm 0,10$	0,35
$\Delta X TO_{Mesa} - TD_{Colchão}$ [m]	$3,72 \pm 0,33$	$3,32 \pm 0,30$	2,93

$H_{máx}$  = Altura máxima; TD = Touchdown; TO = Takeoff;  $\Delta H$  = Variação da Altura;  $\Delta X$  = Variação do deslocamento na progressão.

Até o ano de 2000 os atletas realizavam salto sobre o cavalo e em 2001 foi substituído pela mesa de salto. Um estudo mostra que a alteração do aparelho resultou em alterações na técnica do salto (25). Isto mostra que são necessários mais estudos sobre este aparelho, pois as variáveis analisadas utilizando o cavalo podem não refletir o que acontece no salto sobre a mesa.

## Conclusão

O uso de 8 câmeras, sendo quatro câmeras posicionadas próximo ao solo (inclinadas para cima) e quatro na posicionadas há aproximadamente 5 metros do solo (inclinadas para baixo) permitiram registrar os marcadores em todo o movimento do atleta durante a rotação, e os marcadores ativo de LED de 10mm possibilitaram a obtenção de dados de forma que a exatidão é compatível à encontrada em outros estudos realizados em volumes com dimensões menores.

Os marcadores ativos de LED 10mm é menor que o utilizado em outros estudos. Tal marcador gera menor desconforto para o atleta e o pode ser visualizado em todo o volume do salto mesmo utilizando apenas oito câmeras.

A disposição e o número de câmeras foram satisfatórios para analisar o salto sobre a mesa e utilizando as câmeras comerciais, obtivemos a curva do CM do

atleta durante todo o movimento e algumas variáveis cinemáticas que podem auxiliar na detecção de falhas e aprimorar o desempenho dos atletas da modalidade em questão. Isto mostra que o marcador ativo permite realizar pesquisa em volumes com grandes dimensões podendo assim fornecer informações para a melhoria do desempenho esportivo de gestos técnicos como por exemplo no salto sobre a mesa. Porém, mais testes são necessários para verificar se o enquadramento, o posicionamento e o número de câmeras utilizados neste estudo, permitem analisar movimentos em que o atleta realiza mais rotações em torno dos eixos corporais.

### **Referências Bibliográficas**

1. Prassas S, Kwon Y-H, Sands WA. Biomechanical research in artistic gymnastics: a review. *Sports Biomechanics*. 2006;5(2):261-91.
2. Dunn JH, Takei Y, Blucker E. Somersaulting techniques used in high-scoring and low-scoring Roche vaults performed by male Olympic gymnasts. *Journal of Sports Sciences*. 2007;25(6):673-85.
3. Takei Y, Kim EJ. Techniques used in performing the handspring and salto forward tucked vault at the 1988 Olympic Games. *International Journal of Sport Biomechanics*. 1990;6(2):111-38.
4. Takei Y. Comparison of blocking and postflight techniques of male gymnasts performing the 1988 olympic compulsory vault. *International Journal of Sport Biomechanics*. 1991;7(4):371-91.
5. Takei Y, Blucker EP, Dunn JH, Myers SA, Fortney VL. A three-dimensional analysis of the men's compulsory vault performed at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*. 1996;12(2):237-57.
6. Takei Y. Three dimensional analysis of handspring with full turn vault: Deterministic model, coaches' beliefs, and judges' scores. *Journal of Applied Biomechanics*. 1998;14(2):190-210.
7. Takei Y, Dunn J, Blucker E. Techniques used in high-scoring and low-scoring 'roche' vaults performed by elite male gymnasts. *Sports Biomechanics*. 2003;2(2):141-62.
8. Lim K-C, editor Biomechanical evaluation of Lu Yu Fu technique in gymnastic vault event. *The 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology*; 2005; Korus.

9. Penitente G, Merni F, Fantozzi S, Perretta N, editors. Kinematics of the Springboard Phase in Yurchenko-Style Vaults. 25th International Conference on Biomechanics in Sport; 2007; Ouro Preto, Brazil.
10. Brehmer S, Naundorf F, editors. Key parameters of the 2nd flightphase of the tsukahara with salto backward piked. 32 International Conference of Biomechanics in Sports; 2014; Johnson City, TN, USA.
11. Park C-H, Kim Y-K, Joo J-Y, editors. Comparative analysis of Yang HakSseon vault and Tsukahara 1260° vault in gymnastics. 32 International Conference of Biomechanics in Sports; 2014; Johnson City, TN, USA.
12. Jackson MI, Hiley MJ, Yeadon MR. A comparison of Coulomb and pseudo-Coulomb friction implementations: Application to the table contact phase of gymnastics vaulting. *Journal of Biomechanics*. 2011;44(15):2706-11.
13. Yeadon MR, Jackson MI, Hiley MJ. The influence of touchdown conditions and contact phase technique on post-flight height in the straight handspring somersault vault. *Journal of Biomechanics*. 2014;47(12):3143-8.
14. Silvatti AP, Telles, T., Rossi M, Dias FAS, Leite NJ, Barros RML, editors. Underwater non-linear camera calibration: an accuracy analysis. 28th International Conference on Biomechanics in Sport; 2010; Michigan, USA.
15. Barros RMLd, Brenzikofer R, Leite NJ, Figueroa PJ. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*. 1999;15(1-2):79-86.
16. Figueroa PJ, Leite NJ, Barros RML. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Computer methods and programs in biomedicine*. 2003;72(2):155-65.
17. Adbel-Aziz Y, Karara H, editors. Direct Linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates. ASP. UI Symposium on Close-Range Photogrammetry American Society of Photogrammetry; 1971; Falls Church, VA, USA.
18. Zatsiorsky VM, Seluyanov VN, Chugunova L. In vivo body segment inertial parameters determination using a gamma-scanner method. In: Berme NaC, A., editor. *Biomechanics of Human Movement: Applications in Rehabilitation*; Bertec, Ohio.1990. p. 186-202.
19. de Leva P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*. 1996;29(9):1223-30.
20. despositphotos.com. <http://pt.depositphotos.com/13955474/stock-photo-male-figure-in-anatomical-position-posteriorfront-side-view.html>; despositphotos.com; [cited 2014 08/set].

21. FIG. 2013 – 2016 Code of points: Men’s artistic gymnastics. <http://www.fig-gymnastics.com/site/page/view?id=471>; Acesso em 20/04/2014: Fédération Internationale de Gymnastique; 2013 [cited 2014 20/apr.].
22. Ehara Y, Fujimoto H, Miyazaki S, Tanaka S, Yamamoto S. Comparison of the performance of 3D camera systems. *Gait & Posture*.3(3):166-9.
23. Ehara Y, Fujimoto H, Miyazaki S, Mochimaru M, Tanaka S, Yamamoto S. Comparison of the performance of 3D camera systems II. *Gait & Posture*.5(3):251-5.
24. Carmo AAd, Barros RMLd. Análise cinemática da movimentação dos membros superiores e inferiores, tronco e cabeça durante a marcha de hemiparéticos. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2009.
25. Kerwin DG, Irwin G. The influence of the vaulting table on the handspring front somersault. *Sports Biomechanics*. 2009;8(2):114-28.
26. Miana AN, Barros RMLd. Comparação entre protocolos de marcadores anatômicos e técnicos para análise cinemática na marcha e na corrida. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2007.

## **Considerações Finais**

O marcador ativo de LED desenvolvido permite obter dados referentes à exatidão do sistema em volumes com grades dimensões de até 10m x 2,5 m x 4m compatíveis aos encontrados em diversos sistemas de análise cinemática. Utilizá-lo para análise do salto sobre a mesa da ginástica artística permite maior flexibilidade de posicionamento das câmeras, pois elimina a necessidade de iluminadores.

O custo dos materiais para construção do marcador ativo de LED é inferior a 10\$ por unidade. O tempo de duração da bateria (1 ou 7 horas), mostrou-se adequado para a análise cinemática e as dimensões do marcador desenvolvido (10mm de diâmetro) e gera menor desconforto para o atleta que os marcadores de 25mm utilizados em outros estudos.

Enquanto em outros estudos que abordaram o salto sobre a mesa foram utilizadas de 14 a 18 câmeras, utilizando o marcador desenvolvido foi possível utilizar apenas 8 câmeras para análise 3D do salto sobre a mesa. No entanto, serão necessários mais estudos para verificar e o posicionamento das câmeras utilizado para este salto também pode ser utilizado em exercícios que o atleta realiza maior número de rotações em torno dos eixos corporais.

Portanto, podemos considerar o marcador ativo de LED desenvolvido como uma solução para ambientes considerados como grande volume de calibração, eliminar a necessidade e a influência dos iluminadores que estão presentes no conjunto câmera-iluminador, ser um marcador de 10mm e o conjunto marcador/bateria, que pode ser considerado como uma unidade, viabilizar o uso para a construção de diversos modelos de corpo para análise biomecânica em contexto esportivo.

## **Referências Bibliográficas**

1. Leguet J. As ações motoras em ginástica esportiva. 1 ed. São Paulo: Manoli; 1987.
2. FIG. 2009 – 2012 Code of points: Men's artistic gymnastics.: Fédération Internationale de Gymnastique; 2009.

3. FIG. 2013 – 2016 Code of points: Men's artistic gymnastics. <http://www.fig-gymnastics.com/site/page/view?id=471>:: Fédération Internationale de Gymnastique; 2013 [cited 2014 20/apr.].
4. Prassas S, Kwon Y-H, Sands WA. Biomechanical research in artistic gymnastics: a review. *Sports Biomechanics*. 2006;5(2):261-91.
5. Sprigings EJ, Yeadon MR. An insight into the reversal of rotation in the Hecht vault. *Human Movement Science*. 1997;16(4):517-32.
6. Sprigings EJ, King MA, Yeadon MR. Pre-flight characteristics of Hecht vaults. *Journal of sports sciences*. 1998;16(4):349-56.
7. King MA, Yeadon MR. Factors influencing performance in the Hecht vault and implications for modelling. *Journal of Biomechanics*. 2005;38(1):145-51.
8. Kerwin DG, Irwin G. The influence of the vaulting table on the handspring front somersault. *Sports Biomechanics*. 2009;8(2):114-28.
9. Dunn JH, Takei Y, Blucker E. Somersaulting techniques used in high-scoring and low-scoring Roche vaults performed by male Olympic gymnasts. *Journal of Sports Sciences*. 2007;25(6):673-85.
10. Takei Y, Kim EJ. Techniques used in performing the handspring and salto forward tucked vault at the 1988 Olympic Games. *International Journal of Sport Biomechanics*. 1990;6(2):111-38.
11. Takei Y. Comparison of blocking and postflight techniques of male gymnasts performing the 1988 olympic compulsory vault. *International Journal of Sport Biomechanics*. 1991;7(4):371-91.
12. Takei Y, Blucker EP, Dunn JH, Myers SA, Fortney VL. A three-dimensional analysis of the men's compulsory vault performed at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*. 1996;12(2):237-57.
13. Takei Y. Three dimensional analysis of handspring with full turn vault: Deterministic model, coaches' beliefs, and judges' scores. *Journal of Applied Biomechanics*. 1998;14(2):190-210.
14. Takei Y, Dunn J, Blucker E. Techniques used in high-scoring and low-scoring 'roche' vaults performed by elite male gymnasts. *Sports Biomechanics*. 2003;2(2):141-62.
15. Gervais P. A prediction of an optimal performance of the handspring 1 1/2 front salto longhorse vault. *Journal of Biomechanics*. 1994;27(1):67-75.

16. Jackson MI, Hiley MJ, Yeadon MR. A comparison of Coulomb and pseudo-Coulomb friction implementations: Application to the table contact phase of gymnastics vaulting. *Journal of Biomechanics*. 2011;44(15):2706-11.
17. Koh MTH, Jennings LS. Strategies in preflight for an optimal Yurchenko layout vault. *Journal of Biomechanics*. 2007;40(6):1256-61.
18. Elliott B, Koh M, Jennings L. Gymnastics: Role of joint torques generated in an optimised Yurchenko layout vault. *Sports Biomechanics*. 2003;2(2):177-90.
19. Koh MTH, Jennings LS. Dynamic optimization: inverse analysis for the Yurchenko layout vault in women's artistic gymnastics. *Journal of Biomechanics*. 2003;36(8):1177-83.
20. Penitente G, Merni F, Fantozzi S, Perretta N, editors. Kinematics of the Springboard Phase in Yurchenko-Style Vaults. 25th International Conference on Biomechanics in Sport; 2007; Ouro Preto, Brazil.
21. Lim K-C, editor Biomechanical evaluation of Lu Yu Fu technique in gymnastic vault event. The 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology; 2005; Korus.
22. Brehmer S, Naundorf F, editors. Key parameters of the 2nd flightphase of the tsukahara with salto backward piked. 32 International Conference of Biomechanics in Sports; 2014; Johnson City, TN, USA.
23. Yeadon MR, Jackson MI, Hiley MJ. The influence of touchdown conditions and contact phase technique on post-flight height in the straight handspring somersault vault. *Journal of Biomechanics*. 2014;47(12):3143-8.

**Anexos.**

## Anexo 1: Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa

FACULDADE DE CIÊNCIAS  
MÉDICAS - UNICAMP  
(CAMPUS CAMPINAS)



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Análise Cinemática do Salto sobre a Mesa Tsukahara Estendido

**Pesquisador:** Heber Teixeira Pinto

**Área Temática:**

**Versão:** 3

**CAAE:** 22421413.1.0000.5404

**Instituição Proponente:** Faculdade de Ciências Aplicadas

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 543.122

**Data da Relatoria:** 20/02/2014

#### Apresentação do Projeto:

Um total de 6 atletas da ginástica artística masculina serão avaliados com relação a aspectos técnicos do salto Tsukahara estendido sobre mesa. Os atletas serão selecionados dentre aqueles que frequentam competições, sendo provenientes do Estado de São Paulo.

#### Objetivo da Pesquisa:

Desenvolver processos para analisar de forma cinemática o salto Tsukahara estendido sobre mesa por videogrametria, a partir de múltiplas câmeras.

#### Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos inerentes ao exercício a ser executado, os quais serão minimizados considerando a experiência dos participantes.

Benefícios: ampliação do conhecimento sobre o aprimoramento técnico do salto Tsukahara estendido.

#### Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Serão convidados a participar atletas praticantes regulares de ginástica artística, que consigam realizar saltos de boa qualidade técnica.

#### Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram apresentados o projeto original, o formulário gerado pela Plataforma Brasil, Folha de Rosto

**Endereço:** Rua Tessália Vieira de Camargo, 126

**Bairro:** Barão Geraldo

**CEP:** 13.083-887

**UF:** SP

**Município:** CAMPINAS

**Telefone:** (19)3521-8936

**Fax:** (19)3521-7187

**E-mail:** cep@fcm.unicamp.br

FACULDADE DE CIENCIAS  
MEDICAS - UNICAMP  
(CAMPUS CAMPINAS)



Continuação do Parecer: 543.122

devidamente assinada e o TCLE reformulado, que estão condizentes com as premissas da Resolução 466-2012, CNS,MS. Cronograma adequado. Carta de autorização para recrutamento dos atletas nas dependências do Clube Municipal de Americana.

O TCLE foi reformulado constando os riscos e benefícios da pesquisa, e como se dará o atendimento (suporte) em caso de acidente no salto.

**Recomendações:**

---

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Projeto aprovado, após resolução de pendências.

Em reunião do colegiado, 25-02-2014.

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Cabe ao pesquisador desenvolver o projeto conforme apresentado nesta plataforma, elaborar e apresentar os relatórios parcial e final, bem como encaminhar os resultados para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores associados e ao pessoal técnico participante do projeto (Resolução 466/2012 CNS/MS).

CAMPINAS, 27 de Fevereiro de 2014

---

**Assinador por:**  
**Fátima Aparecida Bottcher Luiz**  
**(Coordenador)**

**Endereço:** Rua Tessália Vieira de Camargo, 126

**Bairro:** Barão Geraldo

**CEP:** 13.083-887

**UF:** SP

**Município:** CAMPINAS

**Telefone:** (19)3521-8936

**Fax:** (19)3521-7187

**E-mail:** cep@fcm.unicamp.br

## **Anexo 2: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE (menores de 18 anos)**

Prezado, convidamos o menor sob sua responsabilidade a participar, como voluntário, da Pesquisa intitulada “Análise Cinemática do Salto sobre a Mesa Tsukahara Estendido”, que tem como objetivo geral desenvolver um protocolo de avaliação cinemática tridimensional para os saltos sobre a mesa, e analisar variáveis cinemáticas capazes de gerar informações que possam contribuir para melhora da técnica do salto Tsukahara estendido. Esta pesquisa é desenvolvida pelo Profissional de Educação Física Heber Teixeira Pinto CREF 082001-G/SP, sob a orientação do professor doutor Milton Shoiti Misuta e a coleta de dados será realizada em uma quadra poliesportiva do Complexo Poliesportivo Milton Fenley Azenha na cidade de Americana.

Os procedimentos aos quais ele será submetido são:

1. O aquecimento corporal e após este serão fixados 38 marcadores esféricos brancos de 20 mm de diâmetro afixados, com fita analérgica, nas proeminências ósseas que formam cada segmento corporal e em algumas marcas técnicas para orientação dos segmentos corporais e assim representá-los. Estes marcadores serão colocados sobre a pele de maneira não invasiva, sem efeitos colaterais, não trazendo qualquer risco para a integridade física do menor;
2. Após a posicionar os marcadores realizaremos uma avaliação antropométrica é baseada no protocolo proposto por Zatsiorsky, Seluyanov, Chugunova (1990) adaptado por De Leva (1996). As variáveis coletadas serão: massa corporal, estatura, comprimentos e perímetros dos segmentos corporais;
3. Será realizado uma filmagem de 5 segundo na posição estática, em pé na posição anatômica e então iniciaremos a coletas dos saltos. Serão realizadas 3 repetições do salto reversão (salto mais simples que o proposto pelo estudo) e 5 repetições do Tsukahara

Os procedimentos realizados neste presente estudo apresentarão caráter não invasivo, não farão uso de qualquer substância ou medicamento, não afetando a integridade física, mental e/ou psicossocial dos indivíduos estudados. Portanto, o único risco previsível aos sujeitos é provindo da fita adesiva analérgica utilizada para fixação dos marcadores sobre a pele, porém pode haver uma chance, embora mínima, de haver processos alérgicos.

Para a coleta adequada dos dados, será utilizado trajes específicos como shorts e camiseta sem manga justos ao corpo e que segmentos corporais podem apresentarem-se expostos;

Todas as imagens obtidas durante da coleta serão exclusivamente utilizadas para análise e tratamento dos dados, pelo próprio pesquisador com finalidade científica, sendo posteriormente eliminadas;

Todo o procedimento experimental, desde a conversa inicial até o término da execução da tarefa serão realizados no tempo máximo de 1 hora e 30 minutos.

Riscos dos testes: Os possíveis riscos dos testes são aqueles inerentes a qualquer prática de exercício físico. A todo o momento da pesquisa os participantes serão acompanhados pelos pesquisadores. Não há previsão de ressarcimento, indenização e/ou reparos, entretanto, caso necessário, daremos todo o suporte necessário a qualquer intercorrência que possa acontecer durante a pesquisa, como assistência de primeiros socorros e médica hospitalar e não haverá custos de sua parte. Caso de lesões mais graves o SAMU (Serviço de Atendimento Móvel de Urgência) será acionado.

Os benefícios da pesquisa: Desenvolver um protocolo de avaliação cinemática permitirá colher informações mais detalhadas sobre o salto sobre a mesa e os dados fornecerão informações que poderão auxiliar os técnicos e assim beneficiar os atletas por meio do aprimoramento da técnica.

Para participar da pesquisa adotamos os seguintes critérios de inclusão: Ser atleta da modalidade há mais de 3 anos, apresentar carga horária de treinamento superior a 15 horas semanais e não possuir lesões músculos-esqueléticas agudas que possam interferir na dinâmica do atleta durante a execução dos saltos e como requisito é que o mesmo consiga realizar um salto com grau de dificuldade superior ao proposto neste estudo.

Você, e também o menor poderão obter quaisquer esclarecimentos antes, durante ou após a realização da pesquisa. Ainda, o menor poderá não participar da pesquisa ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem justificar sua decisão. Isso não acarretará em prejuízos aos demais serviços realizados UNICAMP.

Ao garantimos sigilo de identidade do menor e dados pessoais que possam identifica-lo, assim, ao participar da pesquisa nome dele não aparecerá em qualquer momento do estudo.

Pela participação do menor no estudo, ele não receberá qualquer valor em dinheiro, mas terá a garantia de que todas as despesas necessárias para a realização da pesquisa não serão de sua responsabilidade. Caso haja intercorrências (quedas ou processos alérgicos provindos da fita utilizada) e que além de dar assistência não haverá custos por sua parte;

Após ser esclarecido(a) sobre a pesquisa e a sua participação como voluntário, havendo uma confirmação livre e espontânea em aceitar a participar, você deverá assinar ao final deste documento, em duas vias. Uma das vias ficará com você e a outra via permanecerá com o pesquisador responsável.

### **Termo de consentimento livre, após esclarecimento**

Eu, \_\_\_\_\_,  
portador do RG nº \_\_\_\_\_, CPF nº \_\_\_\_\_,  
residente à \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_  
complemento \_\_\_\_\_ bairro \_\_\_\_\_

cidade de \_\_\_\_\_, Estado \_\_\_\_\_, Telefone nº \_\_\_\_\_  
li e ouvi os esclarecimentos acima, compreendi para que serve o estudo e a quais procedimentos serei submetido a atendo a todos os requisitos dos critérios de inclusão.

A explicação que recebi esclarece os riscos e benefícios do estudo. Eu entendi que sou livre para interromper a participação do menor a qualquer momento, sem justificar minha decisão e que isso não afetará meu programa de treinamentos. Sei que meu nome, nem o do menor não serão divulgados, que o menor não terá nenhuma despesa e não receberá dinheiro pela participação. Concordo e autorizo o

menor \_\_\_\_\_ a participar voluntariamente deste estudo.

Americana, SP, \_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

---

**Heber Teixeira Pinto**

---

**Responsável**

Em caso de dúvida em relação a esse documento, você poderá entrar em contato com o pesquisador responsável.

**Heber Teixeira Pinto**

Tel.: (19) 2121-3022 ou (19) 9 9280-4468; e-mail: [heber@interalia.com.br](mailto:heber@interalia.com.br)

Rua: Pedro Vieira da Silva, 144 Apto:D33 – CEP 13080-507– Jardim Santa Genebra, Campinas, SP.

Para o recebimento de denúncias e/ou reclamações referente aos aspectos éticos da pesquisa entrar em contato com o comitê de ética em pesquisa:

**Comitê de Ética em Pesquisa/FCM/UNICAMP**

Tel: (19)3521 8936; Fax (019) 3521-7187; email: [cep@head.fcm.unicamp.br](mailto:cep@head.fcm.unicamp.br)

Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126 – CEP 13083-887 – Campinas, SP.

### Anexo 3: Resultados dos testes de precisão e exatidão dos marcadores passivos e ativos na situação estática

Resultados dos testes de precisão e exatidão dos marcadores passivos e ativos na situação estática. O VE entre os marcadores passivos é de 135,908mm e entre os marcadores ativos de 139,558mm.

<i>Posição*</i>	<i>Tipo de Marcador</i>	$\bar{VO}$ (mm)	<i>EM</i> (mm)	<i>DP</i> (mm)	<i>EM<sub>Abs</sub></i> (mm)	<i>E<sub>min</sub></i> (mm)	<i>E<sub>máx</sub>(±)</i> (mm)
1	<i>Passivo</i>	135,862	-0,046	0,014	0,046	-0,013	-0,079
	<i>Ativo</i>	140,398	0,840	0,017	0,840	0,806	0,875
2	<i>Passivo</i>	134,019	-1,889	0,027	1,889	-1,781	-1,951
	<i>Ativo</i>	139,348	-0,210	0,014	0,210	-0,156	-0,237
3	<i>Passivo</i>	135,699	-0,209	0,029	0,209	-0,162	-0,272
	<i>Ativo</i>	140,234	0,676	0,017	0,676	0,624	0,715
4	<i>Passivo</i>	136,258	0,350	0,029	0,350	0,296	0,442
	<i>Ativo</i>	141,460	1,902	0,009	1,902	1,858	1,917
5	<i>Passivo</i>	135,802	-0,106	0,044	0,106	-0,008	-0,206
	<i>Ativo</i>	140,114	0,556	0,043	0,556	0,468	0,635
6	<i>Passivo</i>	137,082	1,174	0,034	1,174	1,084	1,237
	<i>Ativo</i>	141,836	2,278	0,029	2,278	2,213	2,359
7	<i>Passivo</i>	133,527	-2,381	0,057	2,381	-2,271	-2,530
	<i>Ativo</i>	139,259	-0,299	0,006	0,299	-0,278	-0,315
8	<i>Passivo</i>	134,347	-1,561	0,036	1,561	-1,471	-1,670
	<i>Ativo</i>	140,054	0,496	0,011	0,496	0,450	0,531
9	<i>Passivo</i>	136,548	0,640	0,020	0,640	0,562	0,658
	<i>Ativo</i>	141,605	2,047	0,021	2,047	2,006	2,128
10	<i>Passivo</i>	136,142	0,234	0,013	0,234	0,192	0,265
	<i>Ativo</i>	141,198	1,640	0,008	1,640	1,621	1,661
11	<i>Passivo</i>	135,449	-0,459	0,025	0,459	-0,403	-0,525
	<i>Ativo</i>	140,039	0,481	0,010	0,481	0,448	0,514
12	<i>Passivo</i>	133,981	-1,927	0,035	1,927	-1,793	-1,988
	<i>Ativo</i>	139,750	0,192	0,038	0,192	0,076	0,234
13	<i>Passivo</i>	134,590	-1,318	0,019	1,318	-1,278	-1,328
	<i>Ativo</i>	139,661	0,103	0,032	0,103	0,053	0,177
14	<i>Passivo</i>	136,055	0,147	0,035	0,147	0,038	0,239
	<i>Ativo</i>	140,042	0,484	0,019	0,484	0,465	0,530
15	<i>Passivo</i>	134,707	-1,201	0,034	1,201	-1,105	-1,297
	<i>Ativo</i>	139,503	-0,055	0,015	0,055	-0,016	-0,090

Legenda:  $\bar{VO}$  = Média; *EM* = Erro Médio; *DP* = Desvio Padrão; *EM<sub>Abs</sub>* = Erro Médio Absoluto; *E<sub>min</sub>* = Erro Mínimo; *E<sub>máx</sub>(±)* = Erro Máximo Positivo ou Negativo.

\* A coluna posição refere-se às posições da estrutura rígida no volume apresentado na Figura 5.

#### Anexo 4: Protocolo de Marcação dos Pontos Anatômicos

PONTOS	REFERÊNCIA
p1	Linha Temporal Superior Direita
p2	Linha Temporal Superior Esquerda
p3	Protuberância Occipital Externa
p4	Processo Espinhoso da C7
p5	(Lateral do Ombro) – Na Lateral do Deltoide Direito
p6	Face Posterior do Braço - Linha entre o Deltoide e Tríceps
p7	Epicôndilo Lateral do Úmero Direito
p8	2/3 Distais na Face Lateral do Rádio Esquerdo
p9	Processo Estiloide da Ulna Direita
p10	Cabeça Metacarpal do Dedo Mínimo Direito
p11	Cabeça Metacarpal do Dedo Indicador Direito
p12	(Lateral do Ombro) – Na Lateral do Deltoide Esquerdo
p13	Face Posterior do Braço - Linha entre o Deltoide e Tríceps
p14	Epicôndilo Lateral do Úmero Esquerdo
p15	2/3 Distais na Face Lateral do Rádio Esquerdo
p16	Processo Estiloide da Ulna Esquerda
p17	Cabeça Metacarpal do Dedo Mínimo Esquerdo
p18	Cabeça Metacarpal do Dedo Indicador Esquerdo
p19	Incisura Jugular
p20	Processo Xifoide
p21	Processo Espinhoso da T8
p22	Espinha Ilíaca Pósterio-Superior Direita
p23	Espinha Ilíaca Pósterio-Superior Esquerda
p24	Topo da Crista Ilíaca Direita
p25	Espinha Ilíaca Ântero-Superior Direita
p26	Trocânter Maior do Fêmur Direito
p27	Ponto Médio da Coxa Direita – Sobre o Vasto Lateral
p28	Epicôndilo Lateral do Fêmur Direito
p29	Epicôndilo Medial do Fêmur Direito
p30	Ponto Médio da Margem Óssea Anterior da Tíbia Direita
p31	2/3 Distais Face Posterior da Tíbia Direita – Sobre o Tendão do
p32	Maléolo Lateral Direito
p33	Face Posterior do Calcâneo Direito
p34	Cabeça Metatarsal do Hálux Direito
p35	Cabeça Metatarsal do 5º Dedo do Pé Direito
p36	Topo da Crista Ilíaca Esquerda
p37	Espinha Ilíaca Ântero-Superior Esquerda
p38	Trocânter Maior do Fêmur Esquerdo
p39	Ponto Médio da Coxa Esquerda – Sobre o Vasto Lateral
p40	Epicôndilo Lateral do Fêmur Esquerdo

p41	Epicôndilo Medial do Fêmur Esquerdo
p42	Ponto Médio da Margem Óssea Face Anterior da Tíbia Direita
p43	2/3 Distais Face Posterior da Tíbia Direita – Sobre o Tendão do
p44	Maléolo Lateral Esquerdo
p45	Face Posterior do Calcâneo Esquerdo
p46	Cabeça Metatarsal do Hálux Esquerdo
p47	Cabeça Metatarsal do 5° Dedo do Pé Esquerdo
p48	Vértice da Cabeça
p49	Acrômio Direito
p50	Acrômio Esquerdo
p51	Tubérculo Menor do Úmero Direito
p52	Tubérculo Menor do Úmero Direito
p53	Tubérculo Maior do Úmero Direito
p54	Tubérculo Maior do Úmero Direito
p55	Epicôndilo Medial do Úmero Direito
p56	Epicôndilo Medial do Úmero Esquerdo
p57	Processo Estiloide do Rádio Direito
p58	Processo Estiloide do Rádio Esquerdo
p59	Maléolo Medial Direito
p60	Maléolo Medial Esquerdo
p61	Cabeça Metatarsal do 2° Dedo do Pé Direito
p62	Cabeça Metatarsal do 2° Dedo do Pé Esquerdo

## **Anexo 5: Cálculos utilizados para determinar a posição do centro de massa dos pés**

Segundo De Leva (1996) a posição do centro de massa do segmento pé está localizado a 44,15% da distância entre o calcâneo e a extremidade distal maior dedo (primeiro ou segundo dedo).

Como na coleta estática e durante a execução do exercício o atleta não possui marcador no local de referência foi realizado um ajuste utilizando o ponto do segundo metatarsal como referência. Assim, para o pé direito foi utilizado o seguinte cálculo:

$$PosiçãoCM_{PéDir} = \frac{CompAntropometria_{PéDir}}{(p61 - p33)} \cdot 44,15$$

E para o pé esquerdo:

$$PosiçãoCM_{PéEsq} = \frac{CompAntropometria_{PéEsq}}{(p62 - p45)} \cdot 44,15$$

Onde:  $CompAntropometria_{PéDir}$  e  $CompAntropometria_{PéEsq}$  são os valores obtidos na antropometria direta realizada com um paquímetro antropométrico. E  $PosiçãoCM_{PéDir}$  e  $PosiçãoCM_{PéEsq}$  são os valores percentuais utilizados para obter a posição do centro de massa de cada segmento.